

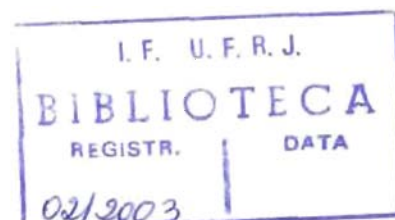
Lentes: acoplando o conhecimento ao seu futuro

Carlos Renato P. da Silva

ORIENTADORA: Lígia de Farias Moreira

Universidade Federal do Rio de Janeiro
agosto de 2003

02/2003



*Na vida não vale tanto o que temos
nem tanto importa o que somos.
Vale o que realizamos com aquilo
que possuímos e acima de tudo,
importa o que fazemos de nós”.*

Francisco C. Xavier

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que participaram da minha vida, especialmente a minha esposa e a todos os professores que deram muito de si para nos ajudar a ser hoje os futuros profissionais de amanhã.

A minha orientadora e amiga professora Dr^a Lígia de Farias Moreira. Não tenho palavras para expressar tamanha gratidão e que com certeza, se me atrevesse a escolher algumas, nesta pequena página não teria espaço suficiente para escrever. Obrigado por tudo Lígia.

Gostaria de agradecer também ao professor Arthur pela paciência e pela atenção na solução de várias dificuldades burocráticas. Agradeço a todos os amigos que contribuíram para que este trabalho fosse feito.

RESUMO:

A tensão do papel do professor é definida como sendo o estado no qual o aluno apresenta uma necessidade de aprender para melhor se preparar. O interesse pelo tema se deu pela observação da falta de atenção dada pela maioria dos profissionais em não abordar a composição de lentes e espelhos. O presente estudo tem como objetivo identificar as implicações que envolvem o aluno em relação ao estudo da óptica e propor ações de ensino que auxiliem na formação do mesmo. Trata-se de uma pesquisa exploratória de abordagem qualitativa na qual o aluno, após ter visto os conteúdos de espelhos e lentes, trabalha com composições dos mesmos em apenas uma aula de 1 h e 40 min. Consideramos esta aula extremamente útil, uma vez que constatamos, em cinco anos de magistério, a dificuldade de transposição destes conteúdos para equipamentos utilizados no dia-a-dia. A análise dos dados desvelou que esta aula foi fundamental para garantir um novo passo rumo ao conhecimento. Esta pesquisa foi realizada no Colégio Pinheiro, para a turma do segundo ano do Ensino Médio, com 35 alunos.

SUMÁRIO

	<i>Pág.</i>
1 Introdução.....	01
2. Metodologia e Materiais.....	03
2.1 Metodologia Utilizada.....	03
2.2 Pré-requisito (Fundamentos Teóricos).....	04
2.3 Bibliografia Sugerida.....	22
2.4 Experimentos	23
3. Desenvolvimento da Aula	24
3.1 Histórico : A história dos óculos.....	24
3.2 Tabela de Aparelhos Ópticos	25
3.3 Acoplamento espelho com espelho.....	26
3.3.1 Imagens em dois espelhos planos.....	26
3.3.2 Caleidoscópio.....	28
3.3.3. Periscópio.....	29
3.3.4 Espelhos Esféricos e Imagem Real.....	30
3.4 Acoplamento Lente com Lente.....	30
3.4.1 Luneta e telescópio.....	30
3.3.2 Máquina Fotográfica.....	32
3.5 Acoplamento Misto.....	33
3.5.1 Telescópio Refletor.....	33
3.5.2 Microscópio.....	35
3.5.3. Retro Projetor.....	35
3.5.4 Projetor.....	36

3.6 Avaliação Formativa.....	37
3.6.1 Exercício 1.....	37
3.6.2 Exercício 2	41
3.6.3 Exercício 3.....	42
3.6.4 Exercício 4.....	44
3.6.5 Exercício 5.....	46
4 Conclusão.....	48
5 Bibliografia.....	50
Anexo I.....	51
Anexo II.....	57
Anexo III.....	58

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como proposta fazer uma análise sobre determinados fenômenos baseados em acoplamentos de lentes, prismas e espelhos. São aplicações diretas dos conhecimentos de óptica geométrica.

É necessário completar esta grande lacuna deixada no Ensino Médio e altamente utilizada na nossa moderna tecnologia. Todos os dias, deparamo-nos com projetores, retro-projetores, telescópios, microscópios, espelhos em lojas de supermercado, em dentistas, raios lasers, etc., e ficamos intrigados com seu funcionamento.

Nossos alunos, muitas vezes, são capazes de resolver problemas de espelhos ou lentes, mas não conseguem visualizar a solução quando se trata de um equipamento que utilize um conjunto de elementos ópticos.

Por isso, consideramos necessário o preparo de uma aula, para discutir alguns aparelhos que utilizem acoplamento de lentes, prismas, espelhos planos e esféricos. Sabemos que o número destes aparelhos é imenso e, por isso apresentaremos alguns exemplos, que consideramos básicos: trabalhos com retro-projetor nos quais existem lentes e espelhos planos acoplados proporcionando aumento de imagem e que podem ser controladas quanto ao tamanho e definição, este é um simples exemplo do dia a dia, o próprio olho humano é um maravilhoso acoplamento de 24 lentes que proporcionam uma das mais perfeitas imagens já percebidas pelo homem.

Os espelhos não servem somente para refletir uma imagem: são retrovisores em veículos, periscópios em submarinos e em formato esférico, podem aumentar ou diminuir uma imagem de acordo com a necessidade.

As lentes servem mais do que serem utilizadas em óculos: podem ser usadas como binóculos de grande alcance, luneta com que se deseja observar corpos que estão muito distantes da terra, ou até mesmo um telescópio.

Há pessoas de diferentes profissões que utilizam o acoplamento de lentes e espelhos e necessitam da compreensão desse acoplamento no desempenho de suas atribuições. O médico oftalmologista utiliza várias lentes para determinar o grau de deficiência do seu cliente; o odontologista utiliza a associação de lentes com espelhos para melhor visualizar os possíveis defeitos das arcadas dentárias; os engenheiros que projetam máquinas de teares

de alta tecnologia de corte onde é feita uma associação de lentes que afinam o laser para uma melhor utilização e até mesmo os astrônomos, que fazem uso de telescópio que é associação de espelhos planos e lentes.

Devido à alta tecnologia imposta hoje, não podemos nos furtar de tal entendimento e ficar à margem do que é tão difundido em nosso cotidiano.

Por isso foi preparada, em apenas uma aula, de 1 h e 40 min, uma visão geral de acoplamento de lentes e espelhos nela, o aluno verá alguns experimentos como fascinantes descobertas que até então não tinham sido vislumbradas. A aula foi dada no Colégio Pinheiro, para a turma do segundo ano do Ensino Médio, com 35 alunos.

Através de experimentos descritos neste trabalho, acreditamos que o aluno pode entender os fenômenos associados a esta temática de maneira mais clara e objetiva.

2 – METODOLOGIA E MATERIAIS

Todo preparo de uma aula começa bem antes de entrar em sala. Procurar levantar os possíveis conhecimentos dos alunos acerca do assunto, fazer um pequeno mapa conceitual como lembrete de organização do conteúdo, pelo grau de importância e relacionamentos relevantes, e selecionar vários exercícios que questionem e levem o aluno a utilizar o conteúdo que foi aprendido, como uma forma de avaliação formativa, são algumas providências tomadas antes da aula.

É imprescindível que a metodologia aplicada chame a atenção do aluno e que a linguagem a ser utilizada seja de fácil entendimento para este, pois o adolescente tende a ter sua própria linguagem.

Levar e discutir experimentos, apresentar cartazes ou transparências ou mostrar experimentos ou equipamentos simples que possam ser desmontados torna fácil o acompanhamento do conteúdo por parte do aluno.

Outra estratégia interessante é a introdução de perguntas que cause certa polêmica, pois com elas poderemos gerar discussões, levando o aluno ao pensamento crítico, o que por sua vez, provocará uma aprendizagem significativa.

2.1 – METODOLOGIA UTILIZADA

Ao entrar em sala de aula, tudo deve estar preparado: o quadro negro, seu material, as cadeiras organizadas e o giz de várias cores o que chamará atenção para os principais dados. Propomos para “quebra do gelo” uma história interessante sobre o tema seguida de conversa informal sobre situações simples de lentes e espelhos. Levamos para sala de aula e demonstramos o que ocorre com o raio de luz ao passar pelo espelho plano ou esférico e pela lente em diferentes situações utilizando uma caneta laser, espelhos e lentes. (Tempo 5 min)

Depois de visto esta parte preliminar pedimos que os alunos rebuscassem em suas memórias aparelhos conhecidos que utilizassem espelhos, prismas e lentes, dividindo-os em três grupos: acoplamento espelhos com espelhos, acoplamento lentes com lentes e acoplamentos misto. (Tempo 10 min)

Uma vez feita esta divisão que foi ajudada e enriquecida pelo professor, passamos a aula propriamente dita. Os conceitos foram revisados junto com os experimentos. (Tempo 40 min)

Finalizamos a aula com cinco exercícios que foram discutidos e resolvidos pelos alunos. (Tempo 45 min)

2.2 – PRÉ-REQUISITO (RESUMO DOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS)

O motivo que nos levou a escolher a óptica, foi por termos constatado uma deficiência muito grande no ensino de acoplamento de lentes, onde não vemos a parte da óptica geométrica e seus principais conceitos aplicados ao dia-dia .

Em especial escolhemos para esta abordagem, dentro da imensidão de conteúdos da óptica, a parte de espelhos e lentes por achar que são bastante importantes e que são muito mal explicados pelos professores do Ensino Médio, uma vez que na graduação é pouco abordado.

Não pretendemos discorrer sobre toda a óptica geométrica, mas para facilitar o leitor faremos um breve resumo do conteúdo que deveria já fazer parte do aprendizado do aluno. Sugerimos, também, uma leitura em livros didáticos sobre o assunto.

O texto a seguir foi baseado nas seguintes referências: [Alvarenga Beatriz, 2000], [Cabral Fernando, 2002], [Fuke, Luis Felipe,1998].

A Importância Da Luz.

Você já ouviu falar na transferência de energia entre os corpos. E sabe, também, que na natureza tudo se transforma. Até a energia pode ser transformada de uma modalidade em outra. Assim, a energia luminosa que nos vem do Sol é absorvida pelas plantas e transformada em energia química. Graças a ela, os átomos se combinam para formar as moléculas orgânicas (açúcares, gorduras e proteínas).

Os animais, comendo os vegetais, adquirem essas moléculas e delas retiram a energia química, transformando-a em energia térmica (que aquece os corpos) ou energia mecânica (com a qual realizam movimentos e trabalho).

Grande parte da energia que consumimos vem de uma longa cadeia de transformações que se origina na luz e a grande fonte de luz para nós, na Terra, é realmente o Sol.

O que então seria a óptica?

Óptica é a parte da física que estuda todos os fenômenos relacionados com a luz.

O que é a luz?

Através dos tempos, tem sido muito discutida a definição do que seja a luz. Huyghens (1629-1695), na Holanda, admitia a natureza de um movimento ondulatório para a luz. Isaac Newton (1642-1727), por sua vez, acreditava na natureza corpuscular da luz, isto é, as fontes de luz emitiriam partículas que se propagariam com imensa velocidade.

Em verdade, a luz se comporta, ao mesmo tempo, como propagação corpuscular (os fótons) e como movimento ondulatório. Mas, para simplificar o nosso estudo, podemos dizer que: a luz é uma manifestação de energia decorrente de um movimento ondulatório de frequência imensamente grande (bilhões de ciclos por segundo), capaz de impressionar os nossos olhos, permitindo-nos ver as coisas.

Propagação da luz

Poderíamos então definir as leis de propagação da luz:

- 1º - A luz se propaga em linha reta.
- 2º - A luz se propaga em todas as direções e sentidos a partir de um ponto.
- 3º - A luz se propaga no vácuo.

A reflexão da luz

Quando um raio luminoso bate contra uma superfície polida (muito lisa) não-transparente, ele volta ao meio de onde partiu, podendo ou não mudar de direção.

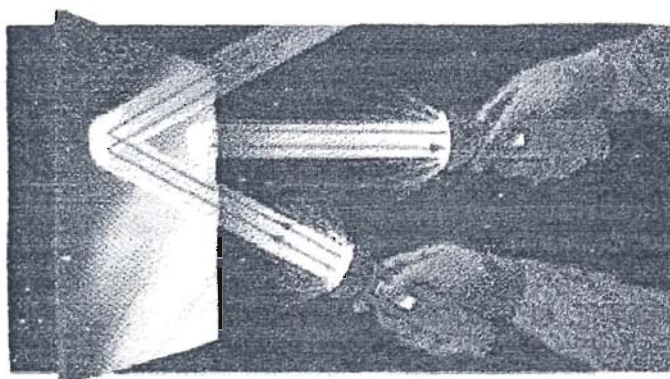


Figura 1 Reflexão da Luz [Cabral , 1998]

Se a luz atinge o obstáculo em posição perpendicular a ele, ela volta na mesma direção, em sentido contrário. Se a luz incide sobre a superfície plana formando com ela um ângulo, então vai refletir-se formando outro ângulo (portanto, mudando de direção). Compare com um jogo de pingue-pongue.



Figura 2 A trajetória do raio luminoso e da bola de pingue-pongue [Cabral ,1998]

Então, reflexão da luz é o retorno do raio luminoso ao meio de onde ele partiu, quando ele incide sobre uma superfície polida, podendo ou não haver mudança de sua direção.

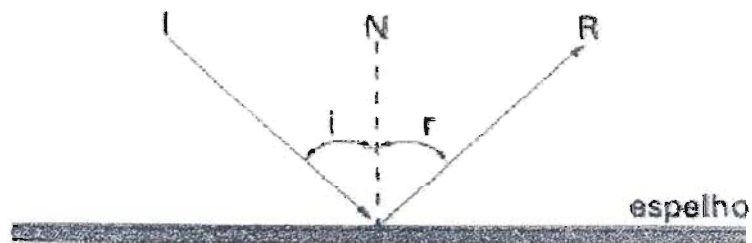


Figura 3 . Diagrama da Reflexão [Cabral,1998]

Veja então as leis de reflexão da luz:

- O raio incidente (I), a normal (N) e o raio refletido (R) estão num mesmo plano.
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

A refração da luz

A luz muda de direção sempre que passa obliquamente (inclinadamente) de um meio para outro de refrefrências diferentes. E isso ocorre quando ela passa do ar para água, por exemplo. Esse fenômeno é chamado refração da luz.



Figura 4a Ilusão de óptica: o remo parece quebrado [Cabral,1998]

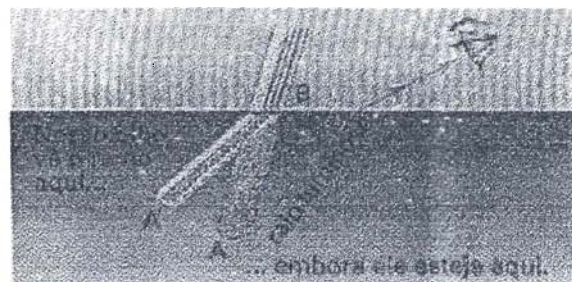


Figura 4b Explicação: a refração da luz

Quando a luz passa do meio menos refringente para um mais refringente (do ar para a água, por exemplo) obliquamente, ela perde velocidade e muda de direção. O raio refratado se aproxima, então, da normal do sistema (normal é a perpendicular ao nível de separação dos dois meios).

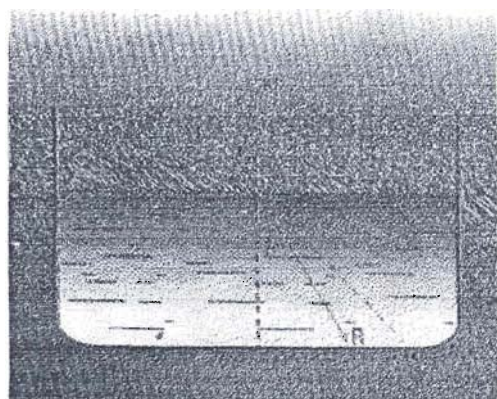


Figura 5 Explicando a refração: N, normal do sistema, I, raio incidente, R, raio refratado, \hat{I} , ângulo de Incidência, \hat{R} ângulo de refração.[Cabral,1998]

Espelhos

As superfícies muito polidas que têm a capacidade de refletir a luz são chamadas espelhos. Traçando-se uma linha perpendicular ao plano do espelho, tem-se a normal ao espelho. O ângulo formado pelo raio incidente com a normal é sempre idêntico ao ângulo que se forma entre a normal e o raio refletido.

Os espelhos são classificados em planos e curvos. Estes últimos compreendem os espelhos côncavos, convexos e cilíndricos.

Espelhos planos

A imagem do objeto, formada num espelho plano, é chamada “imagem virtual”, porque ela se forma atrás do espelho, numa situação que de fato não existe. Ela se afigura por uma questão de ilusão de óptica, pelo prolongamento dos raios refletidos.

Analisando o diagrama abaixo, podemos entender melhor, o que é imagem virtual:

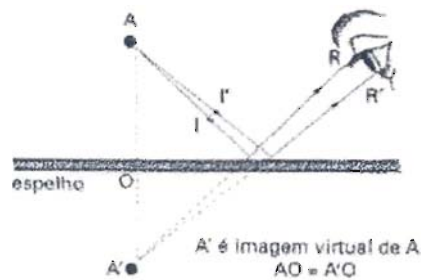


Figura 6 Diagrama que explica a formação da imagem virtual [Cabral, 1998]

Quando um objeto é colocado entre dois espelhos planos que formam entre si um ângulo qualquer, resultam várias imagens. O número dessas imagens vai depender do ângulo formado pelos espelhos. Podemos descobrir o número de imagens numa condição dessas, aplicando a fórmula:

$$n = \frac{360}{a} - 1$$

onde: n = número de imagens

a = ângulo formado pelos espelhos

Obs: Se os espelhos estiverem paralelos o número de imagens é infinito.

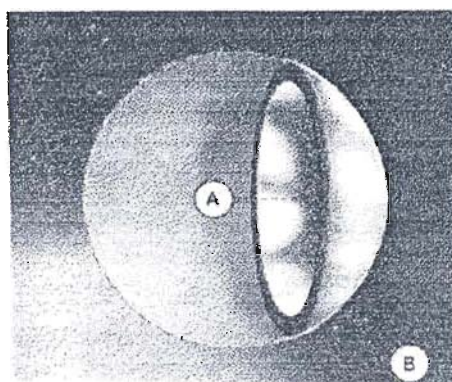
Espelhos curvos

Diz-se que a imagem é real quando ela pode ser “colhida” num anteparo (papel, cartão, tela) colocado na frente do espelho, no ponto onde ela se projeta. Ela pode ser obtida através de espelhos curvos.



Figura 7 Imagem real colhida no anteparo. [Cabral, 1998]

Os espelhos côncavos e convexos representam calotas, isto é, partes de uma esfera. Se a superfície lisa, polida, refletora for a face interna da calota, o espelho será considerado côncavo. Se a parte espelhada for a face externa da calota, o espelho será convexo.



*Figura 8 A – Face interna espelhada (espelho côncavo)
B – Face externa espelhada (espelho convexo)[Cabral, 1998]*

Os espelhos curvos são representados da seguinte maneira:

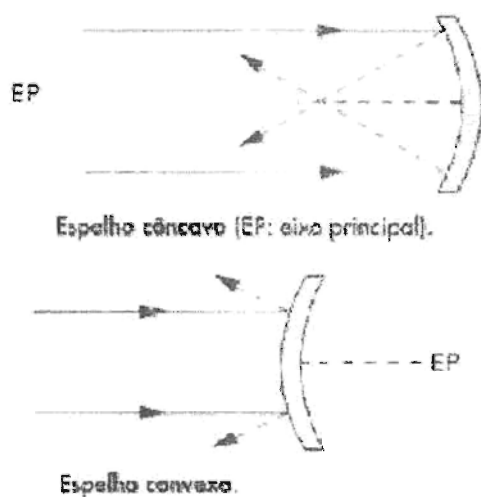


Figura 9 A espelho côncavo B- Espelho convexo .[Cabral, 1998]

Num espelho côncavo, a imagem pode ser real (na maioria das vezes) ou virtual, direita ou invertida, maior, menor ou do mesmo tamanho que o objeto. Tudo isso vai depender da distância do objeto em relação ao espelho.

Num espelho esférico, devemos considerar os seguintes elementos:

- Centro de Curvatura (C): É um ponto que indica o centro da esfera imaginária a que pertence o espelho.
- Eixo principal (EP): É uma reta horizontal que passa pelo centro de curvatura do espelho.
- Foco (F): É o ponto onde se cruzam todos os raios luminosos que incidem sobre o espelho, paralelos ao seu eixo principal.

Particularidades dos raios luminosos:

- 1- Todo raio luminoso que incide sobre um espelho passando pelo centro de curvatura desse espelho reflete-se sobre si mesmo.
- 2- Todo raio luminoso que incide sobre um espelho paralelamente ao EP (eixo principal) reflete-se passando pelo foco e vice-versa.

Determinação de imagens em espelho côncavo:

As imagens são obtidas pelo encontro dos raios refletidos ou de seus prolongamentos.

As determinações de imagens devem ser feitas utilizando-se raios luminosos incidentes paralelos ao EP e raios incidentes passando pelo foco. Na maioria dos casos, para espelhos côncavos, a imagem será real (veja na figura 10.1, 10.2 e 10.3). Há, porém, a possibilidade de a imagem ser virtual (veja a figura 10.4).

No caso da figura 10.4, os raios refletidos tomam-se divergentes (não vão se encontrar em lugar algum). Assim, por ilusão de óptica, faz-se o prolongamento desses raios para trás do espelho, até que eles se encontrem e afigurem uma imagem virtual, direita (não-invertida) e maior do que o objeto.

Sempre que os raios incidentes se refletirem num espelho e resultarem em raios refletidos divergentes, o olho “imagina” o prolongamento dos raios refletidos para trás do espelho e, então, a consequência é uma imagem virtual.

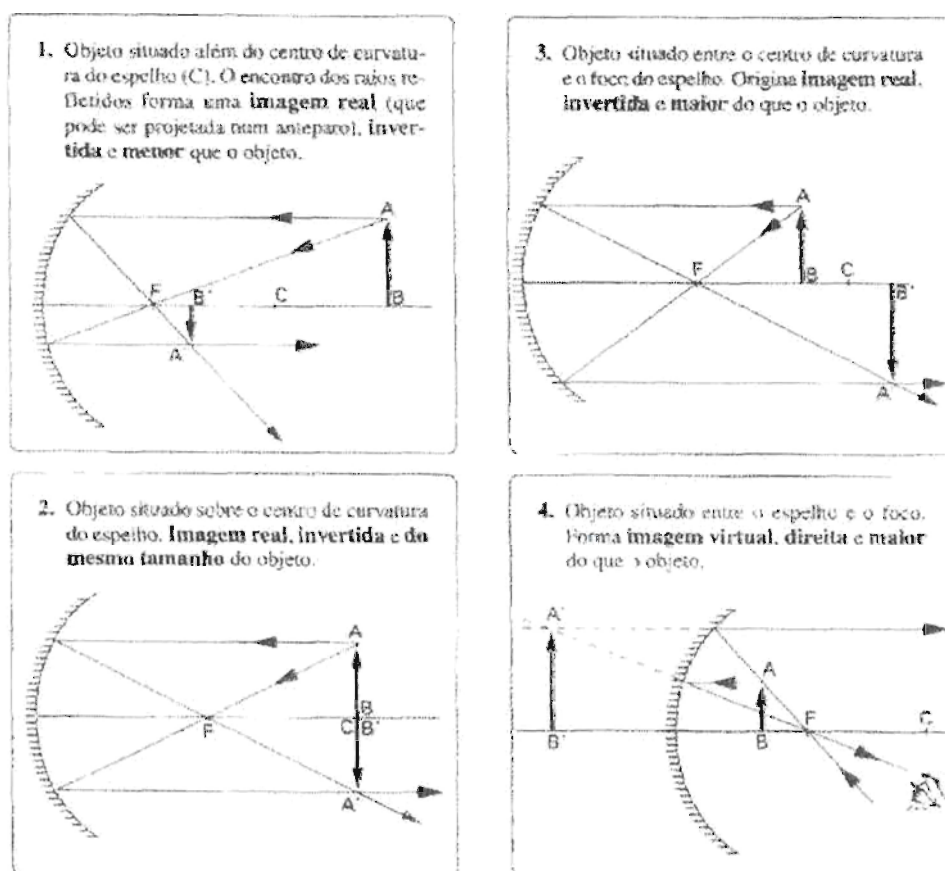


Figura 10 Formação de imagens no espelho côncavo [Fuke, 1997]

Determinação de imagens num espelho convexo:

Nos espelhos convexos, os raios incidentes paralelos, quando refletem, tornam-se divergentes. Assim, só resta prolongar para trás do espelho o trajeto dos raios refletidos, do que resulta sempre uma imagem virtual, direita e menor do que o objeto.

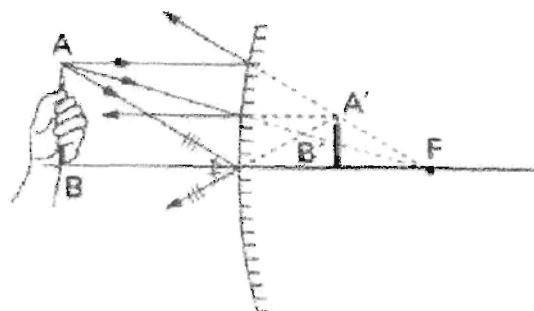


Figura 11 Formação de imagem em espelho convexo [Fuke, 1997]

Espelhos parabólicos

Os espelhos parabólicos são muito usados para projeção de luz, já que por condições geométricas todos os raios de uma fonte luminosa, colocada em seu foco, que se direcionem para o fundo do espelho voltam paralelamente ao eixo principal deste. É o caso dos faróis de carro.

Espelhos Cilíndricos

Já dissemos antes que entre os espelhos curvos também se enquadram os espelhos cilíndricos. Conforme a face espelhada seja a de dentro do cilindro ou a de fora, tais espelhos se classificam em cilíndricos côncavos e cilíndricos convexos, respectivamente.

Esses espelhos deformam as imagens. E, por isso, são muito usados em parques de diversões para provocar o riso das pessoas.

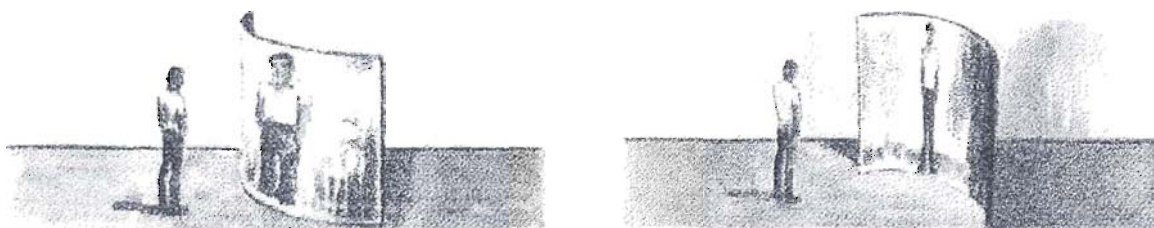


Figura 12 Imagens em espelhos cilíndricos [Fuke, 1997]

Lentes

Caracterização das lentes.

Lentes são corpos transparentes dotados de uma ou duas superfícies curvas. A superfície das lentes pode ser classificada como côncava ou convexa. As lentes côncavas são mais espessas nas extremidades e finas no centro, desta forma quando são atravessadas por um feixe luminoso este é mais retardado nas extremidades do que no centro, caracterizando o fenômeno de divergência da luz.

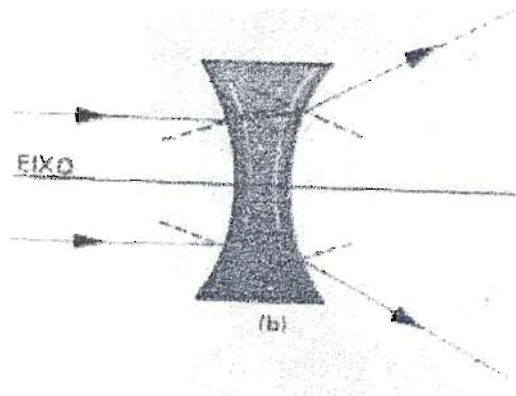


Figura 13 Raios divergentes [Cabral, 1998]

Por outro lado, a lente convexa provoca o fenômeno oposto. Por ser mais espessa no centro do que nas extremidades, as ondas luminosas passam mais rápido por suas extremidades do que por seu centro, convergindo para um determinado ponto.

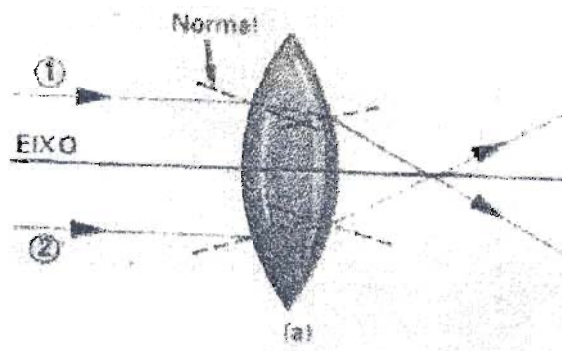


Figura 14 Raios convergentes [Cabral, 1998]

Contudo, este fato é constatado apenas quando a lente está imersa em um meio menos refringente que ela, como é o caso do ar. Se a colocarmos em um meio mais refringente, o fenômeno se inverte: a lente côncava passa a convergir à luz que recebe, enquanto a convexa, a divergi-la.

Elementos de uma lente.

O eixo principal de uma lente é definido como sendo uma linha reta que passa pelos centros de suas superfícies polidas. Quando raios paralelos a este eixo incidem em uma lente convexa, esta os refrata, convergindo-os para um ponto denominado foco principal. A distância entre a lente e seu foco principal é chamada de distância focal, sendo o seu inverso denominado de convergência ou dioptria.

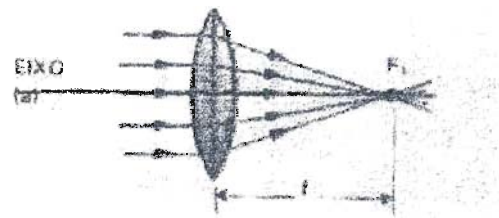
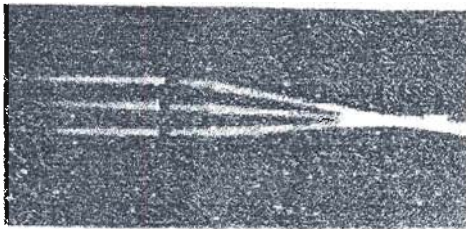


Figura 15 Lente convergente [Cabral, 1998]

No caso de uma lente divergente, podemos achar o foco principal a partir do prolongamento dos raios luminosos que a atravessam. Desta forma, o foco localiza-se antes da lente.

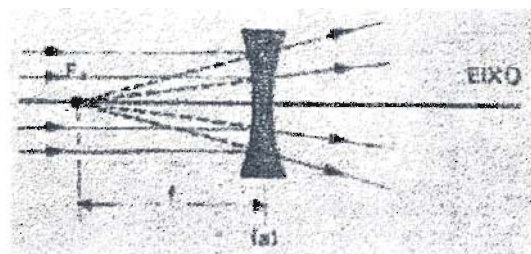
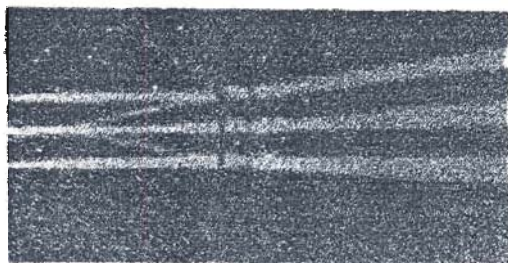


Figura 16 Lente divergente [Sampaio, 2001]

Formação da Imagem

De forma semelhante aos espelhos, as lentes formam imagens reais ou virtuais de objetos que são colocados diante delas. No caso de lentes divergentes, quando é incidida luz paralela ao eixo principal, a imagem formada é sempre virtual, direita e menor que o objeto.

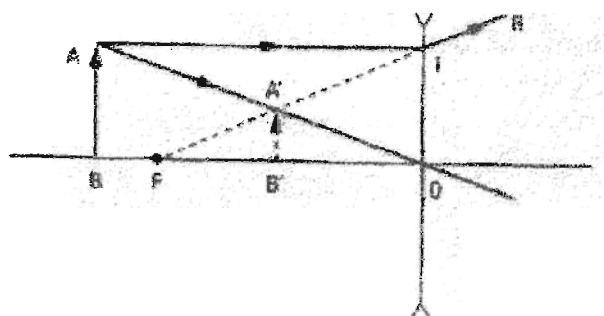


Figura 17 Imagens da lente divergente [Sampaio, 2001]

Já nas lentes convergentes, a imagem vai variar de acordo com a distância entre esta e o objeto. Se o objeto estiver além do dobro da distância focal, a imagem formada será real, invertida e menor do que o objeto, formando-se do outro lado entre o foco e a dupla distância focal.

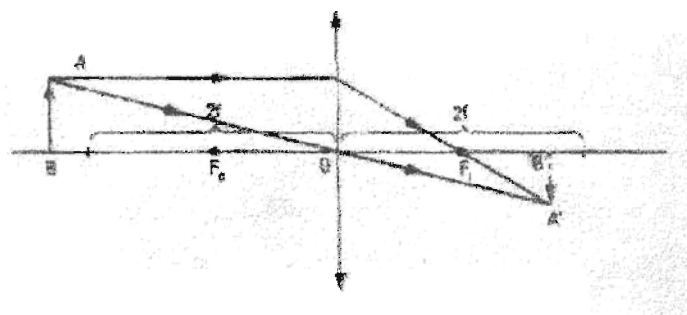


Figura 18 Imagem de lente convergente. Objeto colocado antes do dobro da distância focal. [Sampaio, 2001]

Quando o objeto está posicionado no dobro da distância focal, a imagem se formará do outro lado à mesma distância, sendo real, invertida e do mesmo tamanho.

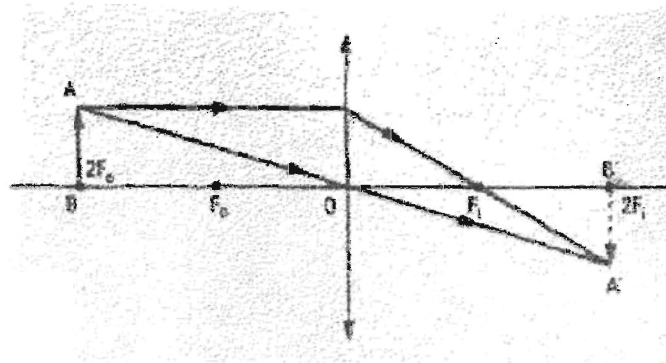


Figura 19 Imagem de objeto colocado no centro de curvatura da lente [Sampaio, 2001]

Aproximando ainda mais o objeto da lente, porém sem atingir o foco, a imagem formada será real, invertida e maior do que o objeto, localizando-se do outro lado da lente, além do dobro da distância focal.

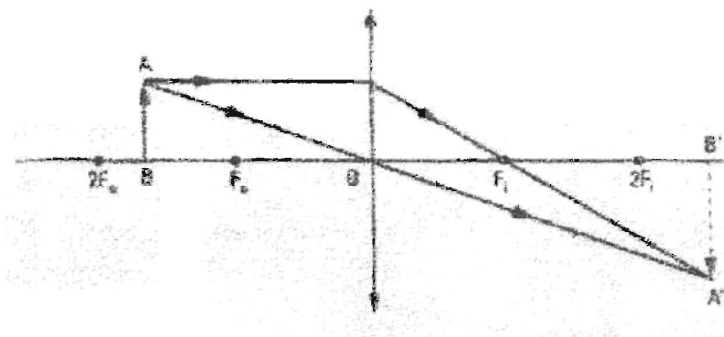


Figura 20 Imagem de um objeto colocado entre o centro de curvatura e o foco da lente [Sampaio, 2001]

Se colocarmos o objeto no ponto focal da lente, não haverá formação de imagem (lembrando que a luz deve ser incidida paralelamente ao eixo principal da lente), uma vez que os raios sairão da lente paralelamente. Neste caso dizemos que a imagem está no infinito.

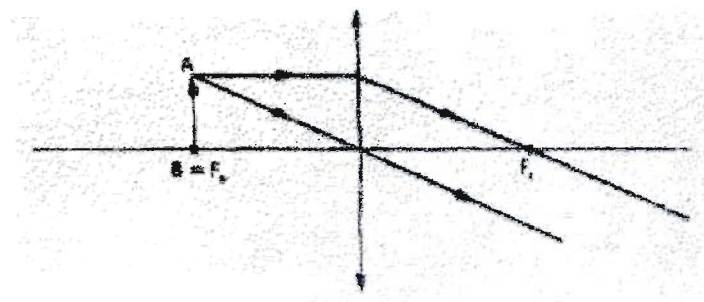


Figura 21 Não ocorre formação de imagem de um objeto colocado no foco da lente. [Sampaio, 2001]

Por fim, se o objeto se encontra entre a lente e o ponto focal, a imagem será virtual, direita e maior que o objeto, formando-se atrás do mesmo.

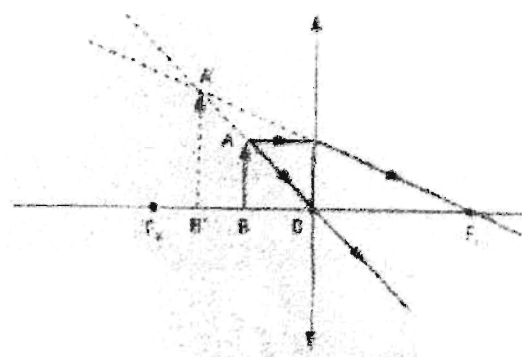


Figura 22 Objeto colocado entre o foco e a lente [Sampaio, 2001]

No caso de lentes divergentes temos apenas um tipo de imagem:

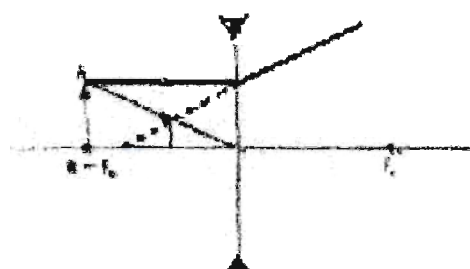


Figura 23 Objeto em lentes divergentes [Sampaio, 2001]

A fim de calcular o tamanho e a posição da imagem formada, podemos utilizar algumas equações:

$\frac{i}{o} = \frac{d_i}{d_o}$	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$
<p>onde: i = altura da imagem d_o = distância do objeto à lente o = altura do objeto d_i = distância da imagem à lente f = distância focal</p>	

As equações podem ser aplicadas tanto para lentes convergentes quanto divergentes e para imagens reais e virtuais, desde que seja observada a seguinte convenção de sinais:

- 1 – a distância d_o é sempre positiva
- 2 a distância d_i será positiva se a imagem for real e negativa se for virtual
- 3 – f será positiva quando a lente for convergente e negativa quando for divergente.

Distância focal de 2 ou mais lentes:

Duas lentes podem se associadas coaxialmente (Eixos principais coincidentes). Caso elas estejam encostadas uma na outra, as lentes estão justapostas, e caso haja uma distância entre elas, as lentes estão separadas.

A primeira forma é usada em instrumentos ópticos modernos, como máquina fotográfica e binóculos, principalmente para corrigir o defeito da aberração cromática, que é a decomposição da luz branca ao atravessar uma única lente. A segunda serve para obter imagens mais ampliadas do que uma lente simples, como nos microscópios e lunetas.

Quando se tem associação de duas lentes, é importante saber obter uma lente equivalente que substitua as demais. Essa lente deve possuir as mesmas características da associação dada, sendo que a imagem conjugada por uma lente funciona como objeto para a segunda.

a) Associação de lentes justapostas

Associando-se duas (ou mais) lentes justapostas, vale o seguinte Teorema das Vergências: A vergência da lente equivalente à associação é igual à soma algébrica das vergências das lentes componentes.

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{ou} \quad 1/f = 1/f_1 + 1/f_2$$

onde: $V = 1/f$ é a vergência da lente equivalente

$V = 1/f_1$ é a vergência da lente 1

$V = 1/f_2$ é a vergência da lente 2

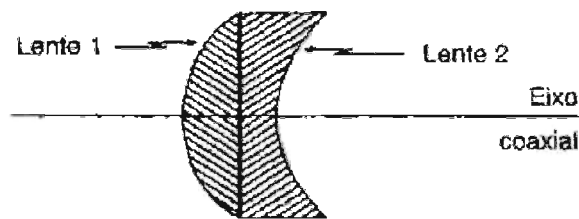
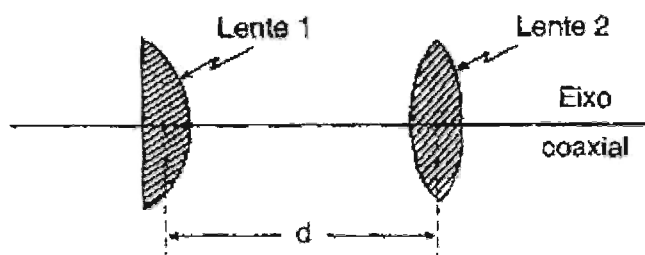


Figura 24 Associação de duas lentes justaposta [Fuke, 1998]

b) Associação de Lentes Separadas

Neste tipo de associação, o teorema das vergências generalizado fica: a vergência da lente equivalente a uma associação de duas lentes separadas de uma distância d , uma da outra, é igual à soma algébrica das vergências das lentes componentes menos o produto dessas vergências pela distância d .



$$V = V_1 + V_2 - V_1 V_2 d \quad \text{ou}$$

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 - d/f_1 f_2$$

Figura 25 Associação de lentes distantes d uma da outra [Fuke, 1998]

obs.: Quando a soma algébrica de f_1 e f_2 for igual a d , isto é, ($f_1 + f_2 = d$), o sistema é afocal, isto é, a vergência da lente equivalente é igual a zero.

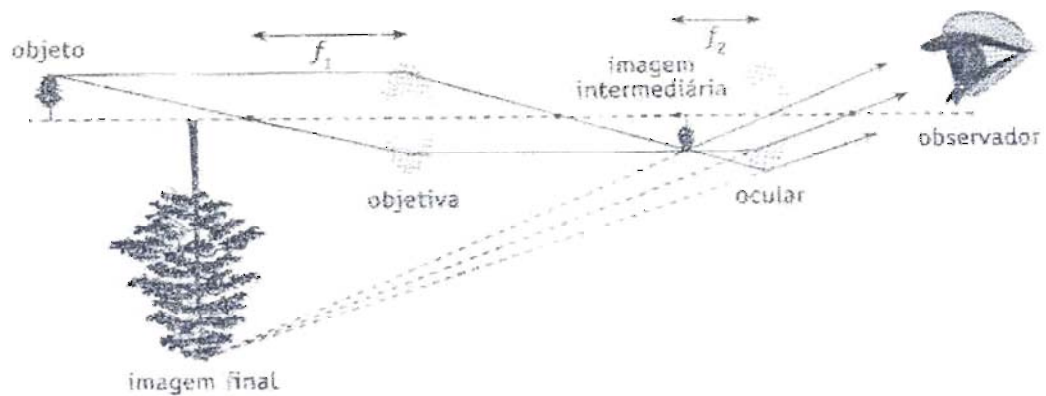


Figura 26 Vista por um observador onde a primeira imagem serve de objeto para a segunda imagem [Cabral, 1998]

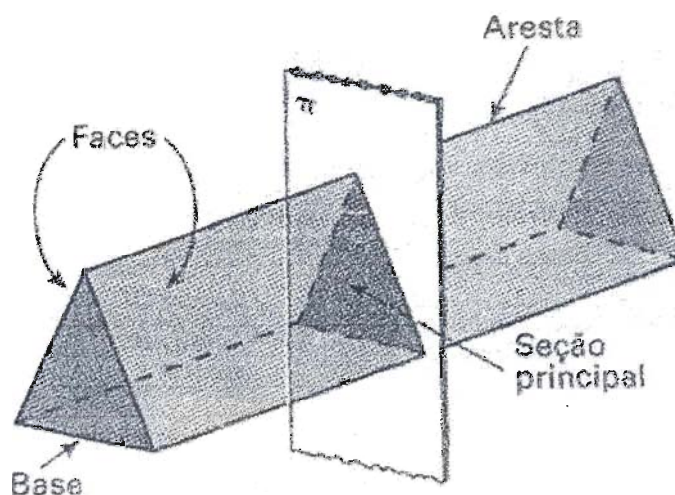
Prismas:

Considere um bloco transparente, de vidro, limitado por duas faces planas e não-paralelas. Esse bloco constitui um prisma óptico, que geralmente está imerso no ar. Nesta figura abaixo temos:

Figura 27 Um prisma e suas dimensões. [Newton, 2001].

Onde:

- **Aresta:** é a intersecção das faces planas que definem o prisma.
- **Ângulo de abertura ou ângulo de refringência:** é o ângulo A entre as faces do prisma.
- **Seção principal:** é uma seção transversal do prisma, determinada pelo plano w perpendicular à aresta.
- **Base:** é a terceira face do prisma, podendo ser plana ou não.



As fórmulas utilizadas para prismas são:

$$\delta = i_1 + i_2 - A \quad r_1 + r_2 = \hat{A}$$

onde δ é o desvio do raio incidente, i_1 e i_2 o raio incidente que entra no prisma e o raio que sai, respectivamente e r_1 e r_2 os raios refratados internos ao prisma e sendo \hat{A} o ângulo do prisma.

2.3 BIBLIOGRAFIA SUGERIDA PARA LEITURA

Alguns livros do Ensino Médio podem ajudar muito a solucionar dúvidas e abordam o mesmo assunto com diferenciada literatura, o que ajudará no entendimento do conteúdo e fixação de toda a matéria.

Segue abaixo uma sugestão de livros que poderão ajudar aos professores e alunos, como leitura complementar :

- ❖ Alvarenga, Beatriz, Máximo, Antônio, *Curso de Física* volume 2, 5ª edição. São Paulo, Editora Scipione.2000
- ❖ Sampaio, José Luiz, Calçada Caio Sérgio. *Universo da Física* . volume 2, 5ª edição. São Paulo, Editora Atual 2001.
- ❖ Cabral , Fernando, Lago Alexandre volume 2, *Física 2*. 1ª edição São Paulo, Editora Harbra 2002.
- ❖ Newton, ,Helou, Gualter. *Tópicos de Física*. volume 2, 16ª edição. São Paulo, Editora Saraiva. 2001.
- ❖ Guimarães Alberto, Luiz, Boa, Fonte, Marcelo. *Termologia e óptica Física para o Ensino Médio*. volume 2, 1ª edição. Rio de Janeiro. Editora Harbra. 1ª edição. 1997

2.4 Experimentos

A montagem dos experimentos utilizados se encontram descritas nos anexos e são indicadas para serem demonstradas junto com as explicações dos equipamentos que utilizamos no nosso dia-a-dia.

3-DESENVOLVIMENTO DA AULA

3.1-HISTÓRICO:

Sugerimos, para dar início à aula, alguma história contada de modo agradável. Dentre as várias escolhas, optamos, na nossa aula pela História dos óculos como curiosidade e “quebra gelo”.

A HISTÓRIA DOS ÓCULOS.

A primeira referência histórica sobre a existência dos óculos está assinalada nos textos do filósofo chinês Confúcio (500 a.C.). Mas a comprovação do seu uso só surgiu no século XIII, durante a primeira viagem de Marco Pólo. As informações do explorador demonstraram que, apesar de os chineses terem rudimentos de óptica, os óculos eram considerados acessórios pela nobreza imperial e amuleto contra a presença de maus espíritos pelo povo.

No mesmo período, filósofos gregos liderados por Aristóteles defendiam o princípio de que a percepção da imagem não tinha relação entre o olho e o cérebro. Acreditavam que a emoção residia no coração e, portanto, a visão tinha importância menor no aperfeiçoamento do ser humano. Tirésias tentou provar essa teoria ao afirmar em público que só se tornara profeta após a deusa Hera o cegar. “A verdade não deve ser vista, mas sentida”, dizia ele. Enquanto isso, líderes de várias escolas filosóficas, portadores de deficiências visuais, solucionavam seus problemas com o auxílio de escribas, que transcreviam seus textos. Mas em Roma o conceito era diferente. No século II d.C., o imperador romano Nero lançava moda, usando uma lâmina de esmeralda durante as apresentações públicas, em função de uma suposta miopia, dificuldade de enxergar a longa distância. Alguns historiadores, porém, defendem outra tese. Nero seria albino e utilizaria lentes escuras para reduzir a luminosidade em locais abertos.

Pedras semipreciosas foram os primeiros instrumentos auxiliares na correção visual para a leitura, em função da sua transparência. Cortadas em camadas finas, inicialmente foram colocadas sobre os textos para aumentar o tamanho das letras. Mais tarde, passaram a ser usadas sobre os olhos, criando-se a primeira forma de lente corretiva.

A procura por lentes, porém, só ocorreu quando o berilo e o cristal de quartzo passaram a ser requisitados, em função da transparência e do fácil manuseio. As primeiras lentes do Ocidente surgiram em Veneza com os mestres vidreiros, até hoje conhecidos como os melhores do mundo.

Mas quem teria começado a arte de fabricar lentes? Italianos? Alemães? Historiadores acreditam que a fabricação de lentes começou antes do descobrimento do primeiro par de óculos, no século XIII, em Nuremberg na Alemanha. Os famosos artesãos do vidro, artistas que ainda hoje criam peças de decoração nas ilhas vizinhas a Veneza, faziam lentes manualmente para serem usadas como lupa sobre textos, a primeira forma de leitura utilizada pelo homem. Os óculos descobertos em Nuremberg tinham movimentos de um compasso, eram montados em ferro ou madeira e seus aros ajustados sobre o nariz. A versão italiana para o aparecimento dos primeiros óculos ficou a cargo do monge Salvino D'Armato. Como todas essas descobertas na Europa necessitavam da autorização do Papa para serem comercializadas, acredita-se que os óculos de Nuremberg foram criados sobre um estudo realizado pelo monge Roger Bacon e levados à Itália por um dominicano, amigo de D'Armato, onde foi copiado. Os italianos, porém, tentam comprovar o pioneirismo com as pinturas na igreja de São Nicolau, em Treviso, onde aparecem padres usando monóculos e o mesmo modelo de óculos em forma de compasso, 200 anos antes da descoberta.

Na sua forma corretiva, os óculos só apareceram no século XVII, após pesquisa do físico Cristian Huygens que, estudando o polimento das lentes, comprovou o desvio dos raios solares ao atravessar um vidro (refração da luz). No século XVIII, o mais destacado físico do seu tempo, Benjamim Franklin, criou as lentes mais importantes, depois do descobrimento dos óculos. Diz a lenda que após uma irritação causada por ter de usar dois óculos, para distâncias diferentes, Franklin partiu as quatro lentes ao meio e colou-as, surgindo desse ato intempestivo as bifocais.

3.2 TABELA DE APARELHOS ÓPTICOS SUGERIDOS

Dando prosseguimento a aula, foi pedido aos alunos que citassem aparelhos ópticos que utilizassem espelhos e lentes. As sugestões dadas pelos alunos foram divididas em três

grupos, para melhor exposição. Os que apresentam somente espelhos, os que apresentam somente lentes e os que apresentam os dois dispositivos ópticos. Alguns aparelhos foram sugeridos pelo professor.

A tabela abaixo foi feita pelos alunos do segundo ano do Ensino Médio do Colégio Pinheiro.

Acoplamento espelho -espelho	Acoplamento lente-lente	Acoplamento misto
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espelho plano fazendo ângulo ✓ Espelhos paralelos ✓ Caleidoscópio ✓ Periscópio 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Microscópio ✓ Projetor ✓ Binóculo ✓ Luneta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Microscópio Eletrônico ✓ Binóculo de prisma ✓ Telescópio ✓ Retro-projetor

Tabela 1: Sugestões feitas por alunos

3.3 -ACOPLAMENTO DE ESPELHO COM ESPELHO

3.3.1 Imagens em dois espelhos planos:

Existem inúmeras demonstrações experimentais com espelhos com as quais é possível até realizarmos uma Exposição de Experimentos. Não se deve limitar a apreciar os efeitos ou a beleza das figuras, mas discutir as causas que as produzem, qual o traçado ou a geometria dos raios de luz que os cria.

Selecionamos aqui as demonstrações mais adequadas ao tema abordado nesta aula. (Ver montagens no ANEXOS)

a) **Associação de espelhos ($0 < \alpha < 180$)** são dois espelhos planos retangulares iguais dispostos verticalmente, de tal maneira que possam ser abertos ou fechados como um livro. Coloque-os sobre uma base horizontal em que estejam marcados ângulos submúltiplos inteiros de 360° e ponha um objeto qualquer entre eles para observar, contar e conferir o número de imagens formadas. Observe, também, que quando o ângulo é de 90° , a imagem formada pelo conjunto não inverte o lado direito com o esquerdo. Montagem no Anexo I-A.

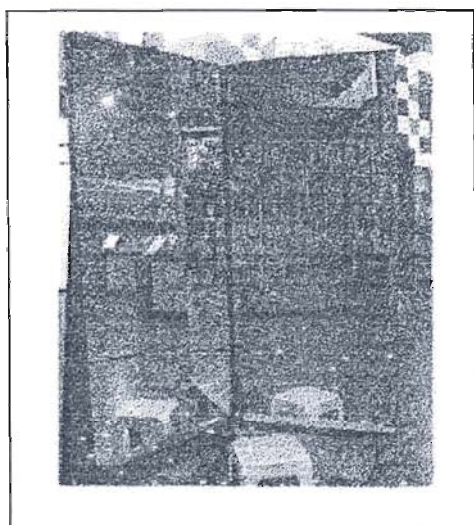


Figura 28 A.

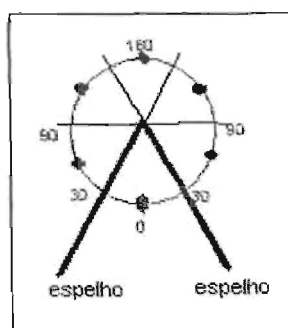


Figura 28.B



Figura 28 C

A) As fotos foram tiradas na Estação Ciência, em São Paulo.

B) Diagrama para ângulo de 60°

C) Espelhos paralelos $\alpha = 0^\circ$ (montagem anexo I B)

[Sampaio José, 2002]

Estes pequenos experimentos são excelentes para os alunos observarem a formação de imagens em espelho plano e fazerem uma analogia com suas imagens diárias. Muitas vezes podemos observar que, apesar de se verem diariamente em espelhos os alunos nunca se fixaram em observar como as imagens se formam.

3.3.2 Caleidoscópio:

Caleidoscópio é um brinquedo muito usado por crianças. Muitos adultos não sabem explicar como funciona, como aquelas imagens interessantes aparecem. O caleidoscópio é montado com três tiras retangulares iguais de espelhos planos dispostos na forma de prisma triangular com as faces refletoras voltadas para dentro. Olhe qualquer figura através desse conjunto — apoiando-o sobre uma revista, por exemplo — para obter um efeito interessante devido à multiplicação e à simetria das imagens produzidas. Coloque fragmentos de papel colorido, miçangas, lantejoulas e coisas similares numa das extremidades fechadas por fora com papel semitransparente. Girando o caleidoscópio, as imagens se modificam continuamente. Em vez dessas coisinhas, você pode colocar um disco de papel cartão desenhado que possa girar em torno de um eixo fixado à extremidade de uma das arestas do prisma.. Ver montagem no Anexo I-C



Figura 29 A [Disponível no site www.feiradeciencias.com.br em março de 2003]

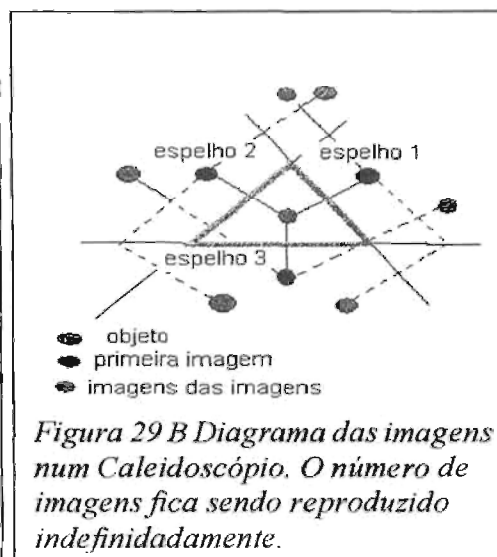
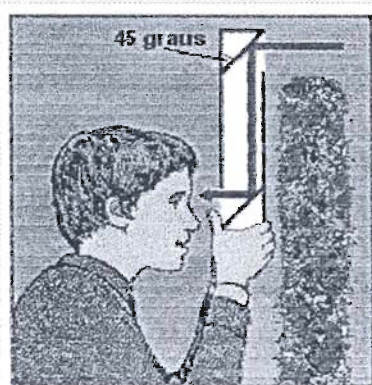


Figura 29 B Diagrama das imagens num Caleidoscópio. O número de imagens fica sendo reproduzido indefinidamente.

3.3.3 Periscópio



*Figura 30A Representa a visão de um telescópio
[Disponível no site [www.feiradeciencias](http://www.feiradeciencias.com.br) em março de 2003] Montagem no anexo I-D*

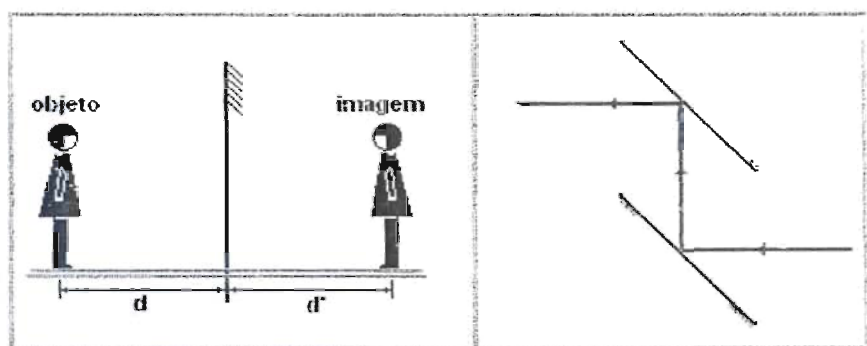
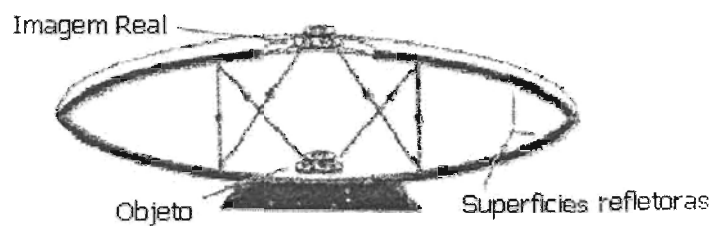


Figura 30 B Esquema da trajetória do raio num periscópio

A ilustração acima (direita) indica dois espelhos planos associados de modo que suas faces refletoras são paralelas. O raio de luz (vermelho) reflete-se no primeiro espelho, reflete-se no segundo e sai na mesma direção do raio incidente original. Esse é o princípio de funcionamento do periscópio.

3.3.4 Espelhos esféricos e imagem real Ver anexo II



Formação de imagem real em três dimensões

Montagem do experimento visto em corte

Figura 31 Diagrama da imagem real em dois espelhos côncavos.

Os dois espelhos esférico têm a mesma distância focal, conseqüentemente a luz que incidir pelo orifício, seja qual for a inclinação do raio vai refletir, formando uma imagem real bem no orifício. Para melhor visualizar a imagem a luz deve incidir perpendicularmente.

3.4 ACOPLAMENTO LENTE COM LENTE

3.4.1 Luneta e Telescópio Refrator:

Como o objeto a ser observado está muito afastado, a objetiva conjuga uma imagem real e invertida no seu plano focal. Essa imagem serve de objeto real para a ocular, que funciona como lupa, o que acarreta uma segunda imagem final virtual, direita e ampliada em relação à primeira imagem. Ver a montagem no ANEXO III

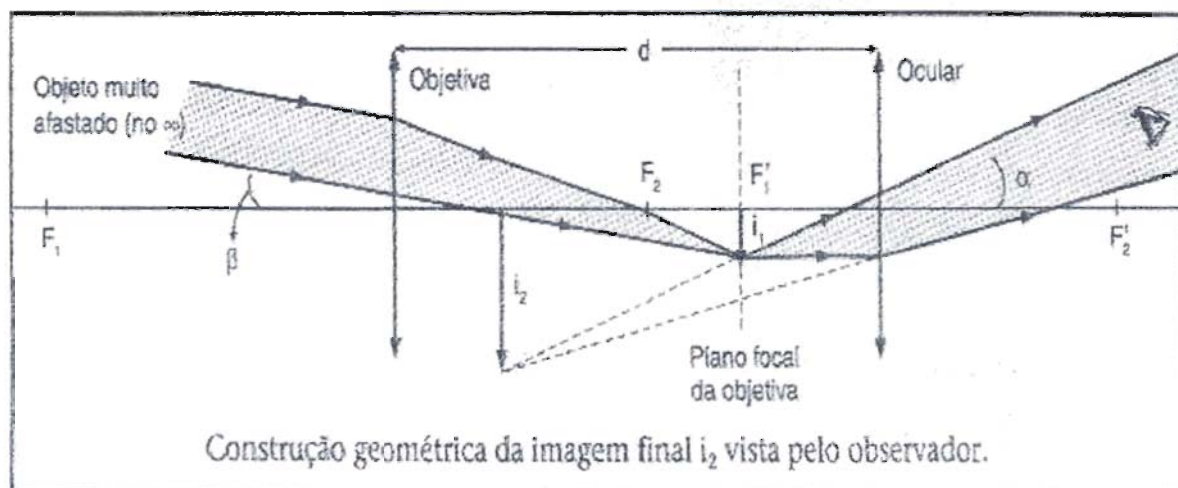


Figura 32 Representa o caminho percorrido pela luz desde um objeto muito afastado, passando por um conjunto de lentes e chegando ao observador. [Sampaio José, 2002]

A luneta astronômica apresenta um aumento angular ou visual (G), em vez do aumento linear, pois o tamanho real do objeto (astro ou estrela) é muito maior que o da imagem final obtida. A luneta apenas aproxima a imagem de um corpo celeste longínquo.

O aumento visual é definido como sendo o quociente entre o ângulo visual pelo qual o observador vê a imagem final pela luneta (α) e o ângulo visual pelo qual ele vê a imagem a olho nu. Na prática, porém, calcula-se pela relação entre as tangentes desses ângulos ou, simplesmente, pela relação entre as distâncias focais da objetiva e da ocular, ou seja:

$$\Rightarrow G = \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \beta} = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{oc}}}$$

No telescópio refrator, a imagem da objetiva é ampliada pela ocular, formando a imagem final. Para observações no infinito, faz-se coincidir os focos da objetiva e da ocular.

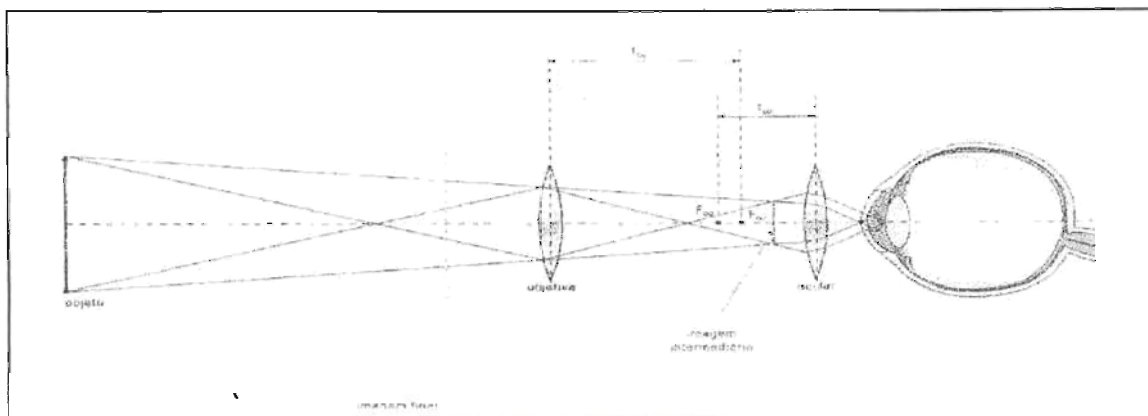


Figura 32 Uma visão do mesmo objeto da figura 30 porém tendo o olho com uma lente
[Sampaio José, 2002]

3.4.2 Máquina Fotográfica :

As máquinas fotográficas têm, como origem, o mais antigo dispositivo óptico construído pelo homem - a câmara escura de orifício 0. A diferença fundamental está na ampliação do orifício, que passa a ser fechado por uma lente convergente, o que a transforma num instrumento óptico de projeção. Em geral, as câmaras fotográficas não têm apenas uma lente, mas um conjunto de lentes, muitas vezes sofisticadíssimas, que compõe o sistema óptico da câmara. E, em vez de um único orifício, têm diafragmas de abertura regulável que, associados a obturadores — dispositivos que abrem o diafragma durante um pequeno intervalo de tempo, controlam a intensidade luminosa proveniente do objeto. Isso é necessário porque as máquinas fotográficas são construídas para fotografar tanto em estúdios e lugares fechados como ao ar livre. Como nem sempre é possível regular as

condições de iluminação de todos esses ambientes, regula-se a intensidade luminosa que penetra na câmara. No anteparo, que corresponde à tela dos projetores, fica o filme — película revestida de material quimicamente foto-sensível, capaz de registrar a imagem nele formada. (O professor, se dispuser de uma máquina fotográfica pode levar para que os alunos identifiquem os dispositivos ópticos).

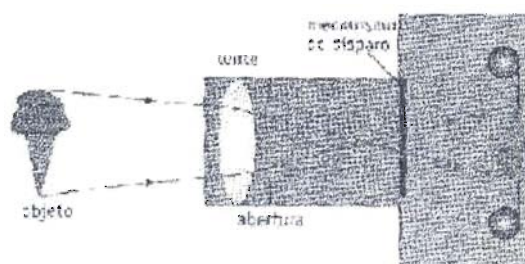


Figura 34 Visão do interior de uma máquina fotográfica. [Sampaio José, 2002].

3.5 ACOPLAMENTO MISTO

3.5.1 Telescópio Refletor

Os telescópios têm a mesma finalidade das lunetas astronômicas, só que substituem a lente objetiva por um grande espelho parabólico côncavo, com muitas vantagens em termos ópticos e também operacionais.

O telescópio refletor foi inventado em 1661, em razão da dificuldade de se obterem lentes adequadas de boa qualidade nas dimensões necessárias. A solução encontrada foi substituir a objetiva por um espelho parabólico côncavo. Veja a figura 35.

Em rigor, o estado teórico dos telescópios refletores e refratares é muito semelhante; as diferenças são exclusivamente técnicas. É interessante observar que o uso de prismas de reflexão permite também endireitar as imagens e aumentar o trajeto do raio de

luz no interior dos tubos, o que ocorre nos binóculos, que são, na verdade, dois telescópios refratores agrupados.

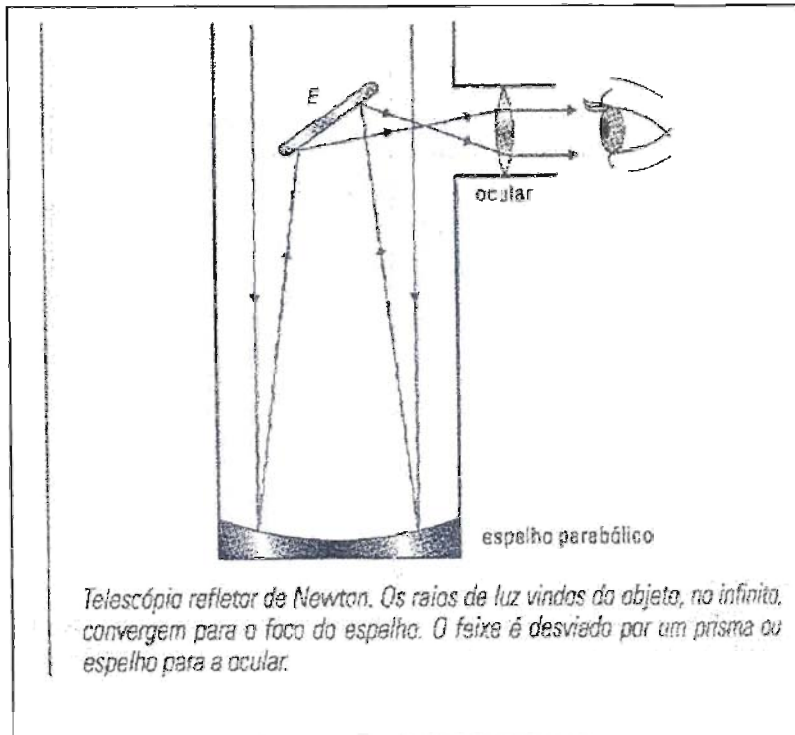


Figura 34 a Mostra como o trabalho em conjunto dos espelhos plano e esférico com uma lente otimizam a visualização de um objeto muito distante. [Sampaio José, 2002]

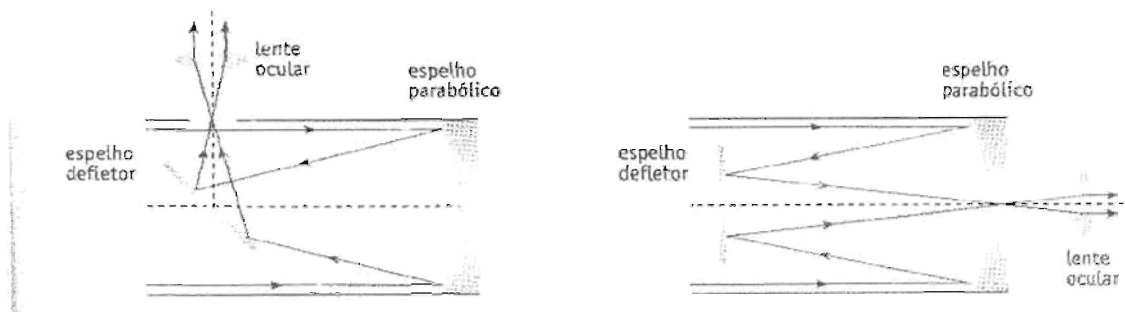


Figura 34 b Duas possibilidades de abertura para a saída da imagem. [Cabral, 1998]

3.5.2 Microscópio:

Serve para ampliar em até 500 vezes o tamanho original do objeto. O objeto é colocado próximo da objetiva, que forma uma primeira imagem, I_1 , real e ampliada, como mostra a figura abaixo. Esta imagem I_1 forma-se entre a ocular e o seu foco e funciona como um objeto para esta lente. Então, a ocular fornece uma imagem final, I_2 , virtual, ainda mais ampliada. Em resumo, a ocular atua como uma lupa, ampliando a imagem fornecida pela objetiva que já era ampliada em relação ao objeto. (Existem microscópios pequenos que podem ser levados para a sala de aula).

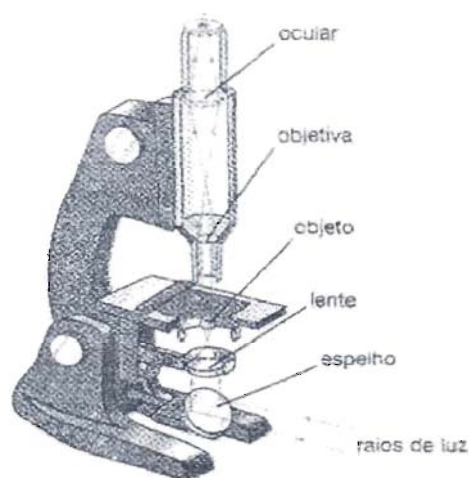


Figura 36 A Esquema dos raios em um microscópio

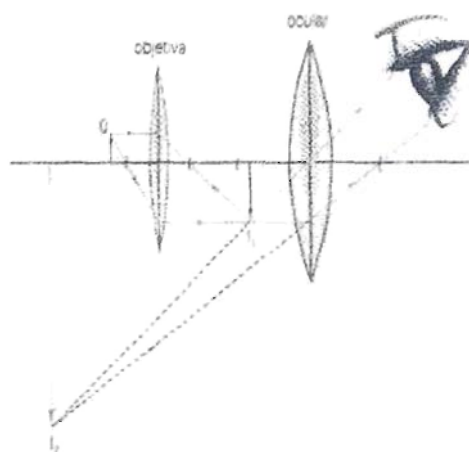


Figura 36 B Uma visão interna do microscópio e ao lado como se forma a imagem.

5.3.3 Retroprojektor:

Tem como função projetar na parede transparências cujo seu tamanho é aumentado. Sua imagem é invertida, maior e real, e por isso pode ser projetada.

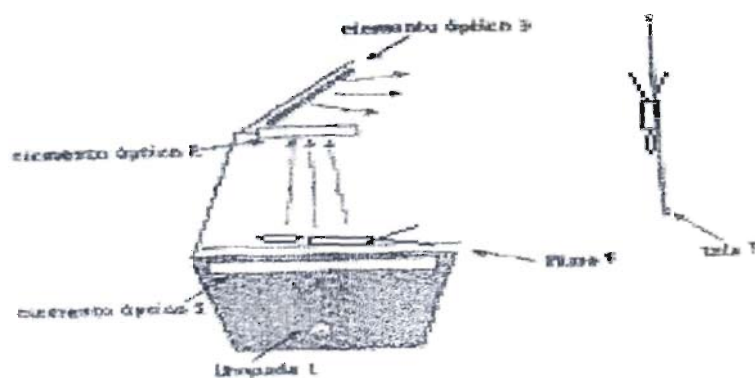


Figura 37 O projetor acima mostra o caminho da luz passando por vários meios óticos sendo duas lentes e por último um espelho plano.

3.5.4 Projetor

O projetor, através de uma lente convergente (objetiva), fornece imagens reais, invertidas e maiores que o objeto (filme ou slide). Como as imagens são projetadas numa tela e vistas por espectadores, é conveniente colocar o objeto invertido no projetor para se terem imagens direita, conforme ilustra a figura 38.

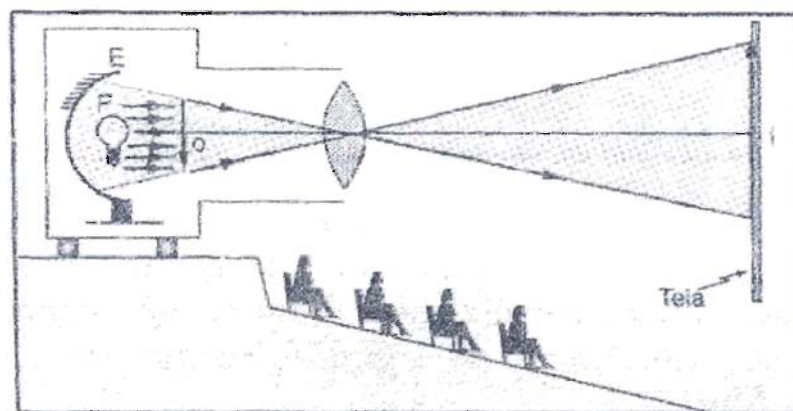


Fig 38 Esquema de um projetor de Slides [Fuks,1998.]

3.6 Avaliação Formativa

A avaliação formativa não tem como finalidade uma nota, uma classificação, mas vai ajudar ao professor diagnosticar as falhas e dúvidas conceituais que ainda permanece.

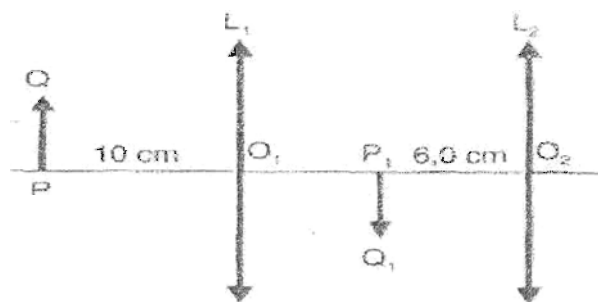
Os exercícios propostos devem ser resolvidos com a participação dos alunos, isto é, o professor deve se dirigir aos alunos e deixar que eles indiquem os procedimentos. No caso da turma inteira não conseguir o professor não deve dar as respostas, mas através de perguntas ir encaminhando a solução. No final dos exercícios o professor deve ressaltar os pontos obscuros detectados ao longo da solução do problema. E sempre que possível, deve fazer associações com os experimentos demonstrados ou com slides mostrando como o equipamento funciona.

3.6.1 Exercício 1 [Sampaio Luiz, 2001]

Este exercício teve como objetivo verificar como os alunos faziam a formação de imagens de lentes acopladas.

Na figura temos duas lentes coaxiais, convergente, de distâncias focais $f_1 = 5,0$ cm e $f_2 = 4,0$ cm, respectivamente para L_1 e L_2 . Frontalmente à lente L_1 , colocamos um objeto extenso PQ, cuja imagem PQ_1 forma-se a $6,0$ cm da lente L_2 . Determine:

- A distância entre as duas lentes.
- A distância da imagem final PQ_2 , ao objeto PQ.



Solução

Item a)

Professor: Que tipos de lentes temos? Vamos identificar as lentes.

Aluno: São lentes convergentes.

Professor Qual a característica da imagem destas lentes ?

Aluno: Real, maior, invertida.

Professor: Como vocês acham que a imagem se forma?

Aluno: Temos que achar a primeira imagem.

Professor: Como se faz isso?

Aluno : Usando os raios com características especiais: todo raio de luz paralelo ao eixo principal refrata passando pelo foco, o raio que passa pelo foco refrata e segue paralelo e todo raio que passa pelo vértice do espelho segue reto.

Professor: Onde a imagem se formará?

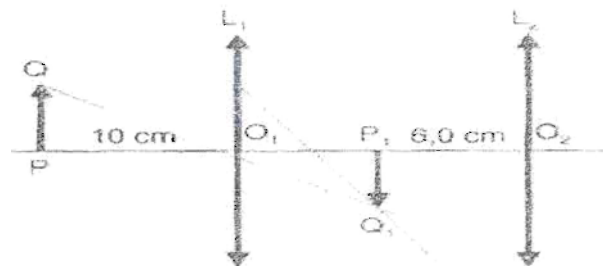
Aluno : No foco (P_1Q_1).

Professor A imagem só se forma no foco?

Aluno : Não. Ela é melhor vista no foco.

Aluno: Então temos:

Observando a imagem verificamos que teremos que obter primeiramente a posição da primeira imagem em relação a lente 1. Assim:



$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{5,0} = \frac{1}{10} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow p'_1 = 10 \text{ cm}$$

Para calcularmos a distância entre as lentes é só somarmos as duas distâncias:

$$\overline{O_1O_2} = \overline{O_1P_1} + \overline{P_1O_2} \Rightarrow \overline{O_1O_2} = 10 \text{ cm} + 6,0 \text{ cm} \Rightarrow d = 16 \text{ cm}$$

Item b

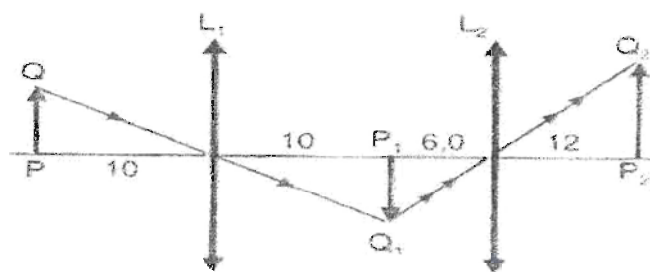
Professor: Como a outra lente “vê” esta imagem?

Aluno : Vê como um objeto.

Professor : Muito bem, como construímos a segunda imagem?

Aluno : Da mesma maneira, usando os raios com características especiais. Achamos (P_2 Q_2).

b) Lembrando que a o objeto da segunda lente é a imagem da primeira lente temos:



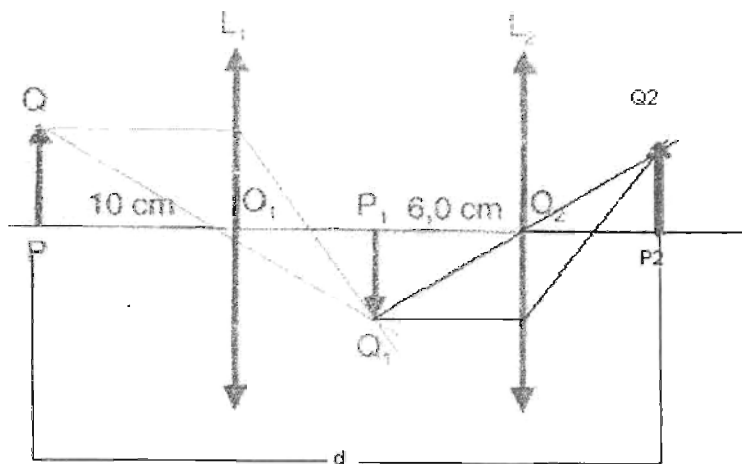
$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{4,0} = \frac{1}{6,0} + \frac{1}{p'_2}$$

$$p'_2 = 12 \text{ cm}$$

Professor: Como calculamos a distância entre as duas lentes?

Aluno : Achando a distância da primeira imagem e em seguida somando com a distância de 6cm do objeto a segunda lente.

Concluindo a distância do objeto a segunda imagem será:



$$D = PP_2 = 10 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 6,0 \text{ cm} + 12 \text{ cm} \Rightarrow D = 38 \text{ cm}$$

Professor: Que tipo de aparelho utiliza este esquema?

Aluno: A luneta.

Professor: O que aconteceria se aumentássemos a distância focal da primeira lente (colocássemos uma lente mais espessa)?

Aluno: Então se aumentarmos a espessura da lente iremos visualizar melhor as imagens porque os raios convergiram mais e a imagem formada estará mais próxima da primeira lente logo teremos uma segunda imagem maior.

Professor: Podemos também utilizar a fórmula geral de acoplamento e teremos:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{5,0} = \frac{1}{10} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow p'_1 = 10 \text{ cm}$$

$$\overline{O_1O_2} = \overline{O_1P'_1} + \overline{P'_1O_2} \Rightarrow \overline{O_1O_2} = 10 \text{ cm} + 6,0 \text{ cm} \Rightarrow d = 16 \text{ cm}$$

b)

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{4,0} = \frac{1}{6,0} + \frac{1}{p'_2}$$

$$p'_2 = 12 \text{ cm}$$

3.6.2 Exercício 2 [Sampaio Luiz, 2001]

Este exercício tem com objetivo chamar a atenção do aluno para o termo vergência e dioptria usado por oculistas. O professor fez associação com lentes usadas por míopes (divergentes) e hipermetropes (convergentes).

Justapõem-se duas lentes delgadas: a primeira delas, convergente, com distância focal de + 50 cm, e a segunda, divergente, com distância focal - 25cm.

- a) Determine a vergência de cada uma, expressando-a em dioptrias (m^{-1}).
- b) Determine a vergência equivalente da associação e a distância focal equivalente.

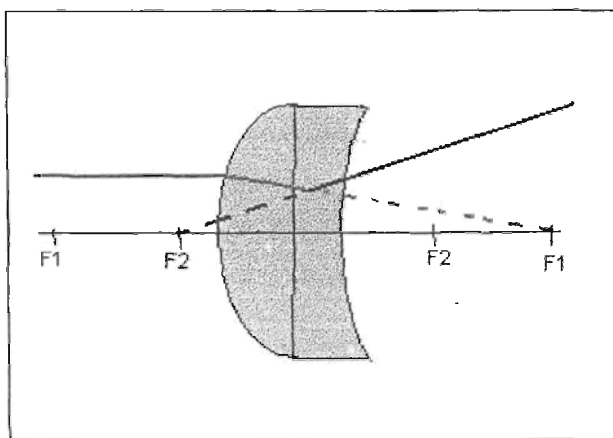
a) $V_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{+50 \text{ cm}} = \frac{1}{+0,50 \text{ m}} \Rightarrow V_1 = +2,0 \text{ di}$

b) $V_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-25 \text{ cm}} = \frac{-1}{0,25 \text{ m}} \Rightarrow V_2 = -4,0 \text{ di}$

$$V_{eq} = V_1 + V_2 \Rightarrow V_{eq} = (+2,0) + (-4,0) \Rightarrow V_{eq} = -2,0 \text{ di}$$

A distância focal equivalente é o inverso da vergência equivalente:

$$f_{eq} = \frac{1}{V_{eq}} = \frac{1}{-2,0} \Rightarrow f_{eq} = -0,50 \text{ m}$$



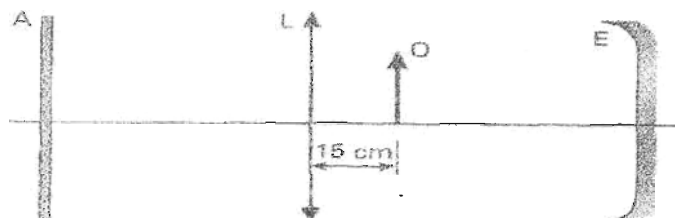
Trata-se de uma lente equivalente divergente.

Graficamente temos a figura acima mostrando um raio divergente.

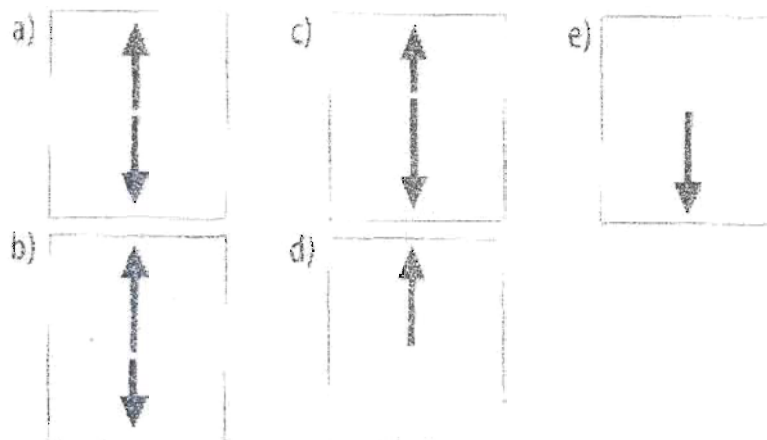
3.6.3 Exercício 3 [Sampaio Luiz, 2001]

Utilizamos este exercício para verificar a atenção do aluno quanto as medidas de foco e de centro de curvatura, que influenciam a formação de imagens em lentes convergentes e espelhos côncavos.

Uma lente esférica convergente **L** e um espelho esférico côncavo **E**, ambos em operação de acordo com as condições de aproximação de Gauss, são dispostos coaxialmente conforme representa o esquema. Um anteparo retangular **A** e um objeto linear **O** em forma de seta, ambos perpendiculares ao eixo do sistema, são posicionados nos locais indicados, iluminando-se o objeto por todos os lados.



Sendo de 12 cm e 30 cm as distâncias focais de **L** e **E**, respectivamente, a melhor representação para figura projetada em **A** é:



Solução:

Item a)

Professor: Qual o primeiro passo?

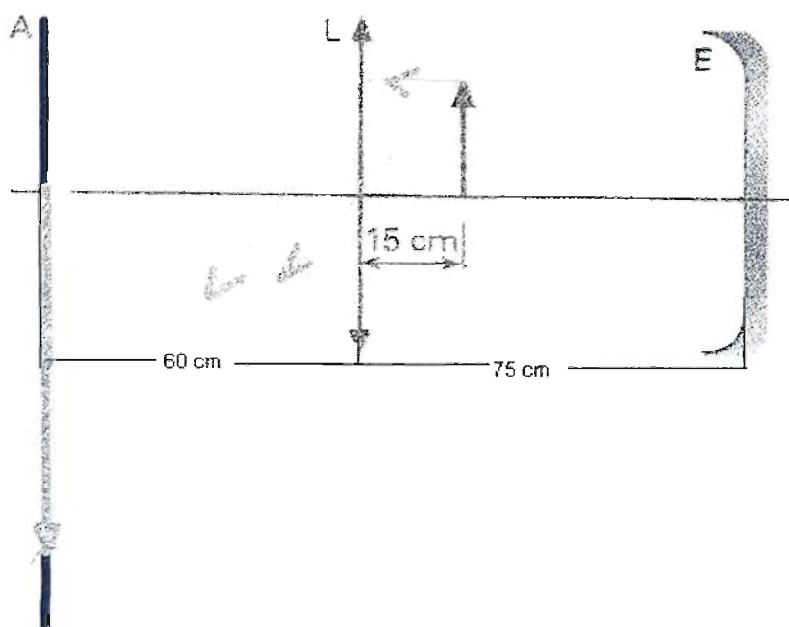
Aluno: Traçar os raios da primeira imagem, formada pela lente.

Professor: Quais?

Aluno: Todo raio de luz paralelo ao eixo principal refrata passando pelo foco, o raio que passa pelo foco segue paralelo e todo raio que passa pelo vértice do espelho segue reto.

Professor: Onde se forma a imagem?

Aluno: No anteparo.



Professor: Temos a primeira imagem. Qual o segundo passo?

Um Silêncio!

Professor: Os raios de luz vão para a espelho também?

Aluno: Sim. Achamos a segunda imagem do espelho.

Aluno: A imagem se formará no anteparo pois no espelho côncavo a imagem será real (logo poderá ser projetada), invertida e maior.

Professor: Vamos ver onde está o objeto ?

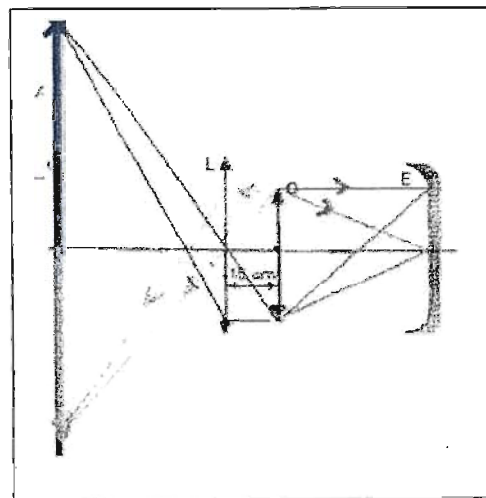
Aluno: No centro de curvatura do espelho.

Professor: Então como é mesmo a imagem?

Aluno: Invertida e igual no centro de curvatura.

Professor: Neste caso, a imagem do espelho se forma antes da lente ou depois?

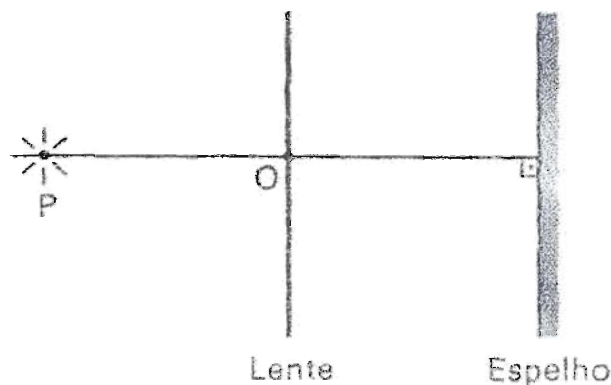
Aluno: Antes e vai ser igual à outra só que no sentido oposto. Logo a resposta correta é a letra a.



3.6.4 Exercício 4 [Sampaio Luiz, 2001]

Este exercício é fácil mais exige que os conceitos estejam bem fundamentados. É difícil para o aluno visualizar a resposta de imediato.

O arranjo experimental da figura é composto de uma lente biconvexa de vidro e um espelho plano. A montagem é feita no interior de uma sala de aula pelo professor de óptica, que dispõe o espelho perpendicularmente ao eixo principal da lente:



De um ponto **P**, situado sobre o eixo principal e distante 30 cm do centro óptico da lente, provém luz que se refrata através da lente, incide no espelho, reflete-se e volta a atravessar a lente, convergindo novamente para o ponto **P**, independentemente da distância entre a lente e o espelho.

- Classifique a lente como convergente ou divergente.
- Obtenha o valor absoluto de sua distância focal.

Solução

Item a)

Professor: Que uma lente biconvexa?

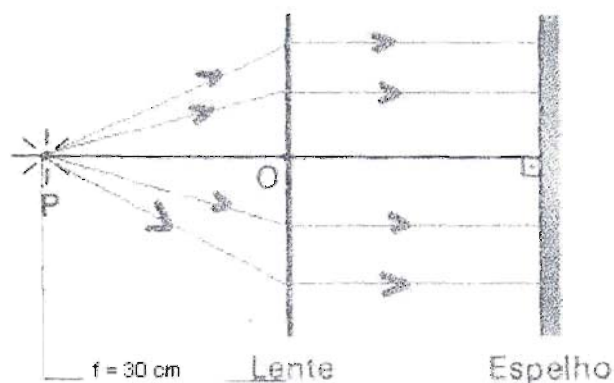
Aluno : É a lente que converge os raios e tem os dois lados abaulados..

Item b)

Professor: Então como será?

Aluno : Para os raios irem e voltarem pelo mesmo caminho devem chegar ao espelho paralelamente.

Professor: O que acontece com os raios ao chegarem ao espelho?



Aluno : Refletem e voltam ao ponto de origem, no ponto p.

Professor: E se aumentarmos ou diminuirmos a distância entre o espelho e a lente?

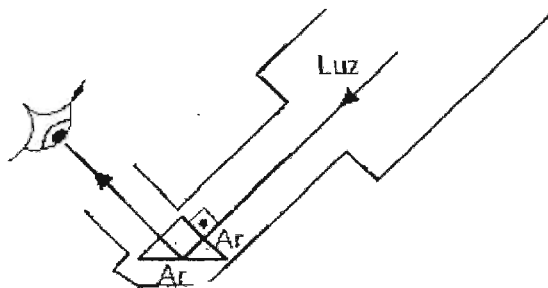
Aluno : Não altera em nada pois os raios iram refletir pelo mesmo caminho, trajetória.

Professor: Então qual a sua distância focal da lente?

Aluno : Só pode ser 30 cm pois os raios refratam paralelos logo o objeto está no foco da lente.

3.5.5 Exercício 5

Numa luneta astronômica , é utilizado um prisma de reflexão total que substitui, com vantagem, um espelho plano. A seção principal desse prisma é um triângulo retângulo isósceles. O que pode afirmar sobre seu índice de refração para ocorrer reflexão total indicada na figura?



Solução

Professor: Como chega o raio de luz?

Aluno : Chega perpendicular a superfície do prisma, fazendo um ângulo de 45° e toma a fazer 45° dentro do prisma.

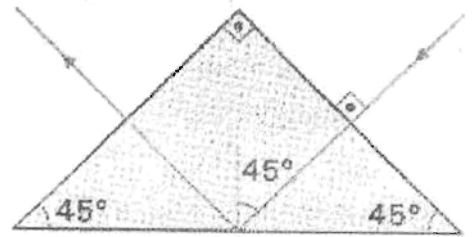
Professor: Aplicando a fórmula temos que:

$$45^\circ \geq L \Rightarrow \sin 45^\circ \geq \sin L \quad \left(\begin{array}{c} \text{ângulos do} \\ \text{primeiro} \\ \text{quadrante} \end{array} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} \geq \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Como $n_{\text{menor}} = n_{\text{ar}} = 1$ e $n_{\text{maior}} = n_{\text{prisma}}$, temos:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} \geq \frac{1}{n_{\text{prisma}}} \Rightarrow n_{\text{prisma}} \geq \sqrt{2}$$



4-CONCLUSÃO

Estudar o papel do professor frente à óptica foi uma experiência gratificante e enriquecedora, visto que permitiu ampliar conhecimentos a cerca de um tema que vivencio em meu dia a dia enquanto professor do Ensino Médio.

Através da análise crítica do discurso da literatura profissional nos últimos cinco anos, pude evidenciar que são muitos os estudos que abordam a óptica.

Fica claro que a abordagem de composição de lentes e espelhos se dá pela não realização de uma aula contextualizada e atualizada. Ainda existe um olhar pedagógico com relação ao aluno devido às dificuldades encontradas nos modelos referencias.

No que tange aos aspectos profissionais é perceptível que, com o conhecimento abordado, o papel do professor que ali atua se modifica, de modo que para efetiva atuação neste campo se faz necessário um preparo acadêmico adequado. O processo de trabalho dos profissionais está passando por transformações requerendo uma outra organização de suas atividades e atribuições. O professor é um indivíduo que pode ajudar muito neste processo de ensinar, porém não se deve esperar que ensine naturalmente, pois é uma pessoa que está, também, precisando de auxílio e apoio.

Perceber a realidade do professor neste estudo reforça a necessidade de desenvolvimento de novos conteúdos voltados para os alunos que integram neste processo.

Em sala percebeu-se que os alunos tiveram grande interesse pela aula e participaram amplamente com perguntas e sugestões, o que levou a uma grande discussão sobre o acoplamento de lentes e outras sugestões que enriqueceram, em muito, o conteúdo lecionado.

Houve momentos de puro entusiasmo onde com grande facilidade, os alunos puderam classificar e sugerir novas situações do dia-dia o que me deixou muito lisonjeado.

A aula por mim ministrada teve grande impacto ao despertar interesse e curiosidades por parte dos alunos que sugeriram exercícios e perceberam a relevância do tema abordado.

Os exercícios realizados em sala de aula levaram os alunos à reflexão e aplicabilidade dos conceitos estudados e permitiu sanar mais algumas dúvidas.

Em suma, caberá a docência partilhar esta experiência com os outros profissionais e desta maneira divulgar mais uma abordagem da óptica aplicada.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Alvarenga, Beatriz, Máximo, Antônio, *Curso de Física* . volume 2, 5^a edição. São Paulo, Editora Scipione.2000
- ❖ Cabral , Fernando, Lago Alexandre volume 2..Física 2. 1^a edição São Paulo,Editora Harbra 2002.
- ❖ Fuke, Luiz Felipe, Shigekito Carlos Tadashi,Yamamoto Kazuhito. Os Alicerces da Física. Volume 2, 12^a edição. São Paulo, Editora Saraiva 1998.
- ❖ Newton, ,Helou,Gualter. Tópicos de Física. volume 2, 16^a edição. São Paulo, Editora Saraiva. 2001.
- ❖ Sampaio, José Luiz, Calçada Caio Sérgio.Universo da Física . volume 2, 5^a edição. São Paulo, Editora Atual 2001.
- ❖ Neto, Luiz Feraç, Feira de Ciências, disponível no site [www.feiradeciencias](http://www.feiradeciencias.com.br) em março de 2003

ANEXO I

A - Espelhos planos formando ângulo entre eles

Material necessário:

- 2 espelhos;
- 1 transferidor (pode ser uma cópia XEROX);
- 1 objeto de preferência assimétrico em relação a horizontal;
- Fita durex.

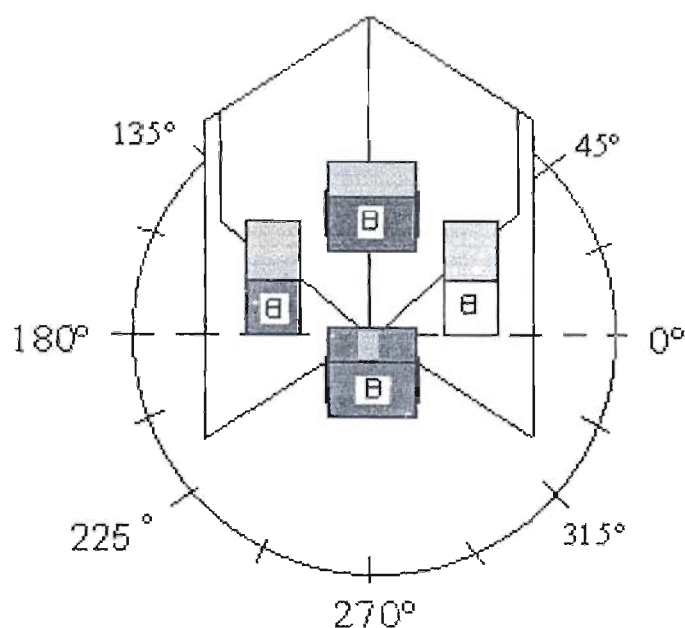


Figura I-1 Diagrama das imagens formadas entre dois espelhos planos com um ângulo α entre eles.

Procedimento:

- 1- Prenda os espelhos com fita durex e coloque no centro do transferidor;
- 2- Coloque os espelhos formando diferentes ângulos e conte as imagens formadas.

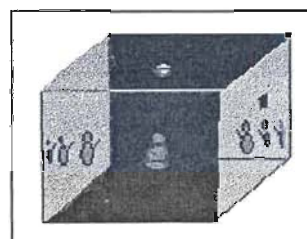
Análise:

O professor pode usar este experimento para fazer o aluno compreender a formação de imagens em espelho plano. Pode chamar a atenção para a inversão horizontal da imagem na primeira reflexão.

B - Espelhos paralelos

Material:

- 1 caixa de papelão pintada de preto por dentro;
- 2 espelhos planos colocados um de frente para o outro;
- Fazer uma pequena janela (raspar) em um dos espelhos.
- Fazer um circuito com uma lâmpada de lanterna no topo da caixa, utilizando duas pilhas pequenas.



*Figura I-2 –
Experiência com
espelhos planos
paralelos*

Os alunos devem ser incentivados a contarem o número de imagens formadas e como elas se apresentam.

C - Caleidoscópio

Material

- Três espelhos (13 cm x 4 cm);
- Papel de transparência;
- Cartolina (15 cm x 22 cm);
- Papel vegetal ou similar (5 cm x 5 cm);
- Objetos transparentes coloridos (missangas, papel celofane, pedaços pequenos de plástico);
- Fita durex larga, tesoura .

Montagem

- Junte os três espelhos por suas bordas para formar um prisma triangular (tinta do lado de fora); passe a fita durex de forma a montar um triângulo.

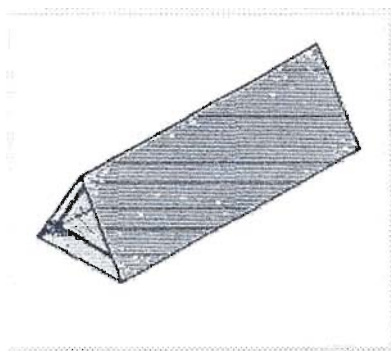


Figura 1-3 – Montagem de um caleidoscópio

- Com o papel transparência faça uma caixa triangular, com tampa de 4,9 cm de lado.
- Acomode, dentro da caixa, objetos transparentes coloridos;
- Encaixe a caixa em uma das extremidades do prisma triangular feito com os espelhos,
- Faça um tubo com a cartolina e coloque os espelhos dentro,
- Na extremidade do prisma em que colocou a caixa, coloque uma rodela de papel vegetal dobrando e colando o excedente no tubo de cartolina;
- Na outra extremidade faça uma rodela de cartolina com um furo central de 0,6 cm e cole-a no tubo;
- Com papel fantasia encape o tubo.

Procedimento

- Coloque-se frente a uma janela e observe o prisma pela extremidade do orifício.
- Gire o prisma.
- Descreva o que observa e relacione-o com a experiência anterior.

D - Periscópio

O periscópio utilizado em submarinos não utiliza espelhos planos e sim prismas ópticos construídos com toda as técnicas de engenharia; o nosso é um modelo didático que tem como princípio básico a reflexão da luz. Dada a simplicidade da construção e das leis ópticas envolvidas é bastante recomendado para as 'demonstrações'.

Os espelhos planos fornecem, a partir da luz proveniente de um objeto real, uma imagem virtual, do mesmo tamanho do objeto e simétrica ao objeto, em relação ao espelho ($d = d'$). A figura abaixo (esquerda) ilustra essas propriedades entre objeto e imagem conjugada por um espelho plano.

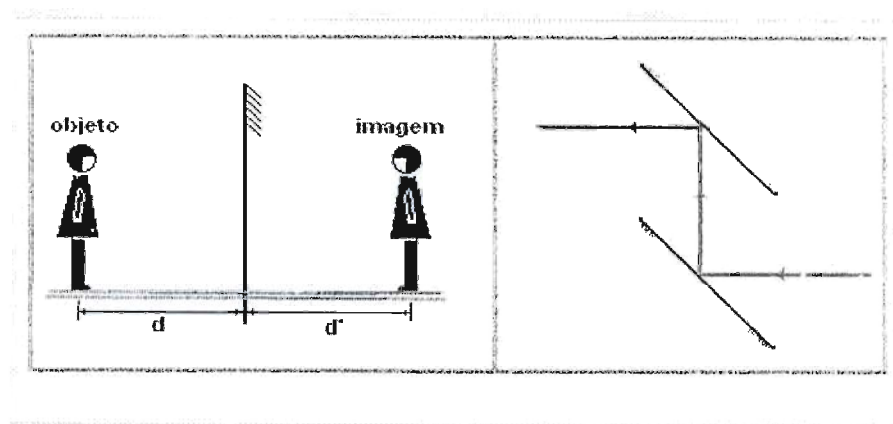


Figura I-4 Esquema da trajetória do raio num periscópio

A ilustração acima (direita) indica dois espelhos planos associados de modo que suas faces refletoras são paralelas. O raio de luz (vermelho) reflete-se no primeiro espelho, reflete-se no segundo e sai na mesma direção do raio incidente original. Esse é o princípio de funcionamento do periscópio.

Material

Cartolina preta ou papelão recoberto com papel preto; dois espelhos planos comuns de 9 cm por 14 cm; régua, tesoura, cola, etc.

Montagem

- 1- Obter a cartolina preta (ou papelão) e cortá-la nas medidas 43 cm por 66 cm;
- 2- Traçar as linhas de referência e cortar a cartolina nas regiões indicadas em amarelo;

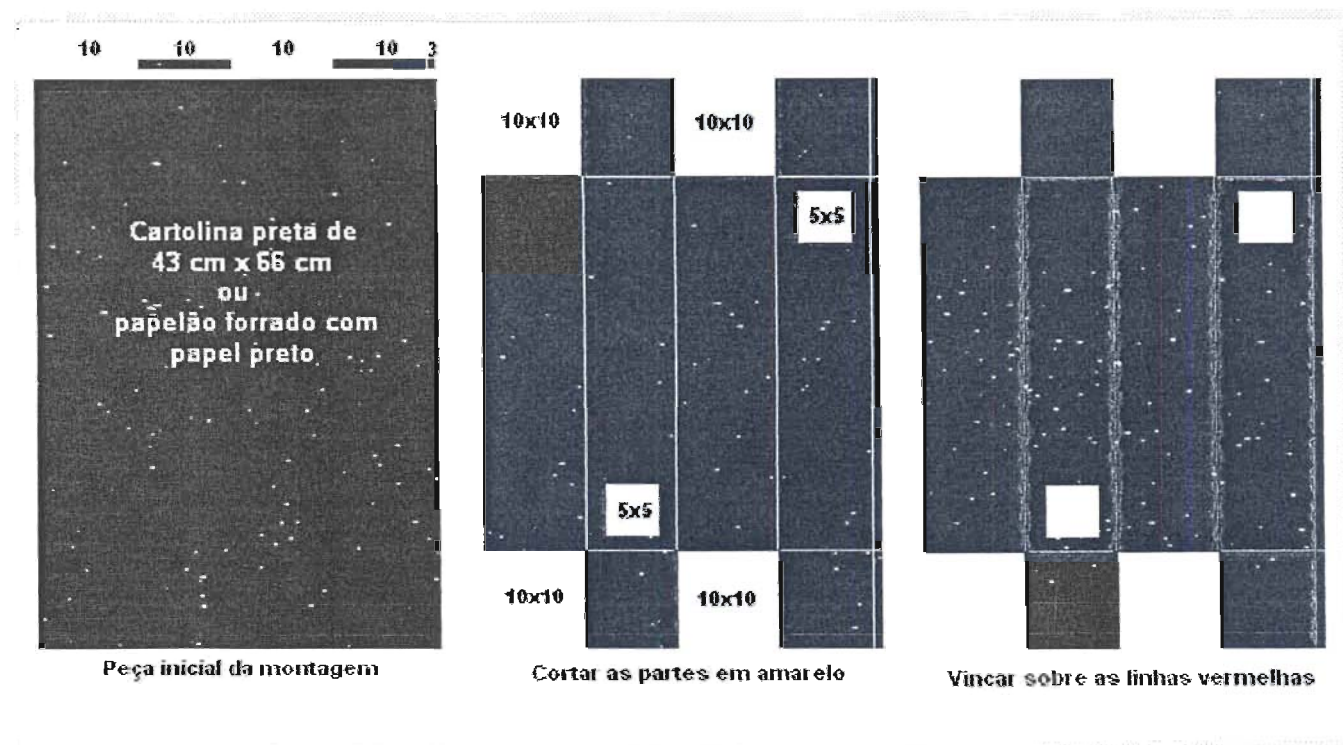


Figura I – 5 Molde para a construção de um periscópio.

- 3- Vencar a cartolina segundo as linhas marcadas em vermelho;
- 4- Fechar a dobradura e observar se houve alguma falha nos cortes ou nos vincos e apreciar como deverá ficar a montagem final;

5- Colocar os espelhos no interior da montagem, ajustando-o para a inclinação correta (45°);

6 - Verificar o funcionamento mesmo antes de colar a última face da caixa.

7- Divirta-se e mostre aos colegas como funciona 'a coisa'.

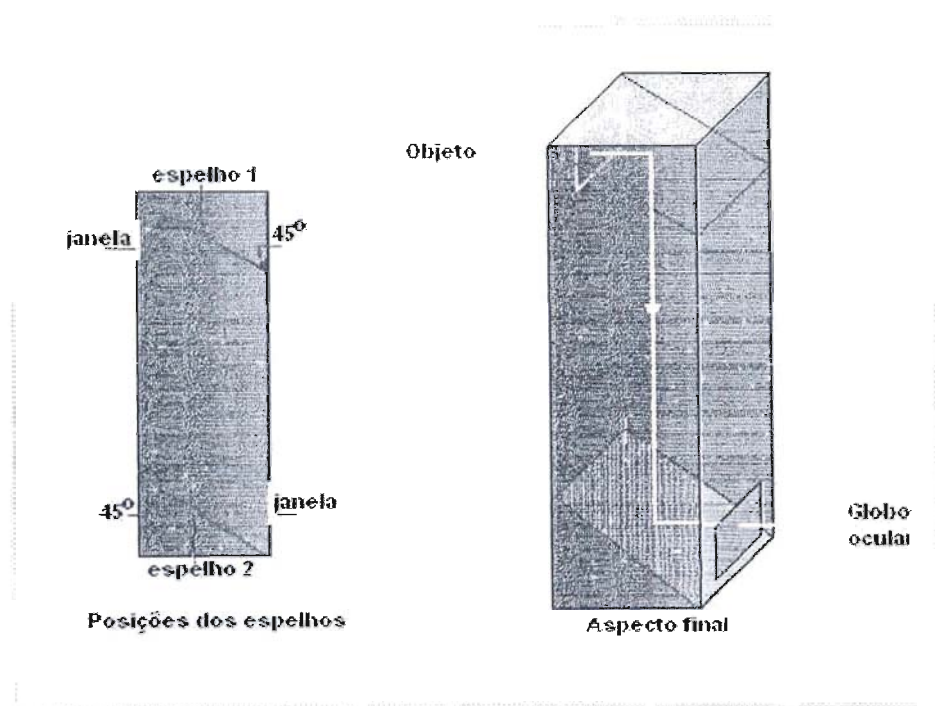


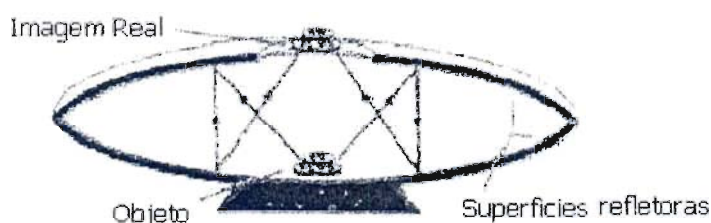
Figura I – 6 – Esquema final do periscópio

ANEXOII

A- Imagem real com espelhos esféricos

Material:

- 2 espelhos côncavos, 1 não espelhado no seu centro, de forma a descrever um pequeno círculo de 1,5 cm de raio;
- 1 bonequinho para se observar a imagem (no caso usamos um pequeno duende);
- 1 pedaço de cano de pvc (diâmetro 6 cm) para servir de suporte;
- 1 luminária para observar melhor a formação da imagem.



Formação de imagem real em três dimensões

Montagem do experimento visto em corte

Figura II.1 Imagem Real em espelhos côncavos

Procedimento:

- 1- Junte os espelhos côncavos, de forma a borda de ambos estarem bem juntinhas;
- 2- Agora, no espelho côncavo inferior, cole o duende de cabeça para baixo e cole o pedaço de cano de pvc de maneira que envolva o duende.
- 3- Na parte inferior do cano pvc cole o espelho plano virado para dentro.
- 4- Monte o conjunto numa caixa de papelão para proteção.
- 5- Ilumine o conjunto com a luz incidindo verticalmente.

Anexo III

Acoplamento misto - Projetor de slides

Material:

- 1 pedaço de trilho de cortina (30 cm);
- 1 lâmpada queimada cheia de água;
- 1 lâmpada de 100 W;
- 2 bocais;
- 2 presilhas para trilho de cortina,
- Fio;
- Pedacos de madeira para fazer o suporte para segurar o trilho e a base;
- Slide ou filmes feitos pelos alunos.
- 1 pino macho para ligação na tomada.
- 1 interruptor.

Procedimento:

- Prenda nos bocais das lâmpadas as presilhas para o trilho de cortina;
- Agora prenda num dos bocais a lâmpada com água e no outro bocal (já devidamente com o fio e o pino) a lâmpada de 100 W;
- Coloque ambos os bocais no trilho presos pelas presilhas, fixando apenas a lâmpada de 100 W;
- Agora construa um suporte para o trilho com a madeira e prenda a base também de madeira;

- Construa um suporte para colocar seu filme (que deve ficar entre a lâmpada normal e a lâmpada cheia de água);
- Ligue a lâmpada normal e mova a lâmpada cheia de água no trilho até que se forme uma imagem nítida na parede (anteparo);

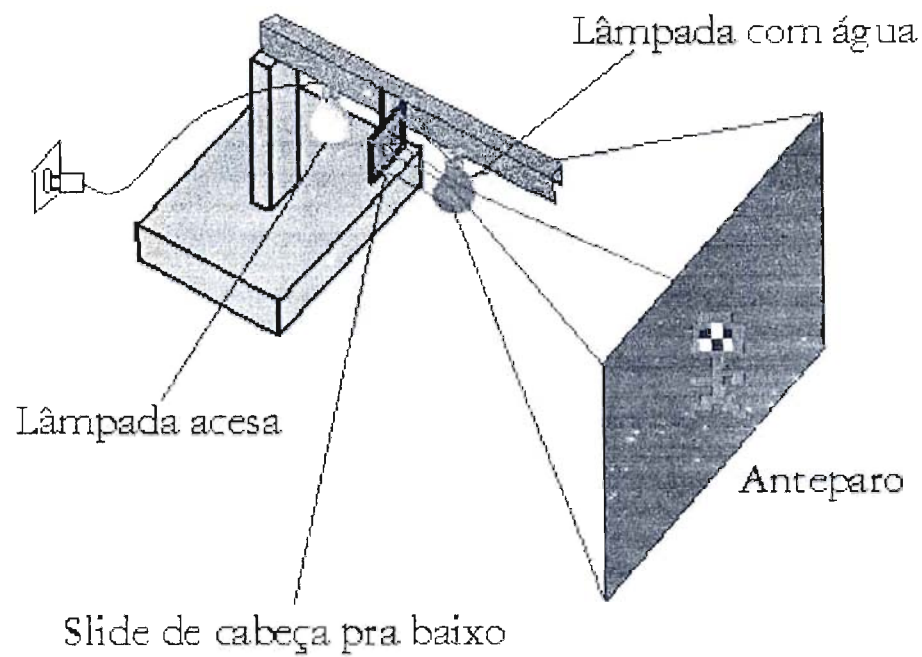


Figura IV 1 Projetor de slides caseiro